

参赛密码 \_\_\_\_\_

(由组委会填写)

## 第十一届华为杯全国研究生数学建模竞赛

学 校                      解放军电子工程学院

---

参赛队号                      90019003

---

队员姓名	1.王帅杰
	2.余强
	3.董康华

---

参赛密码 \_\_\_\_\_

(由组委会填写)



## 第十一届华为杯全国研究生数学建模竞赛

题 目      人体营养健康角度的中国果蔬发展战略研究

### 摘            要：

本文进行了人体营养健康角度的中国果蔬发展战略研究,结合实际、较全面地确定了人体健康所需的营养素指标,并分层次地建立了营养素指标体系得图1。进一步优化指标体系得图2。

针对问题1,根据产量最大性、营养素必需性的准则,运用单纯形法建立了主要水果和蔬菜品种筛选模型,筛选出在营养素成分及含量上满足研究需要,且总计产量较大的12种水果、9种蔬菜。分别运用回归分析法、灰色关联分析法、马尔科夫链建立了三个预测评估模型。基于种植业管理司所提供的数据库,分别根据三个预测评估模型,使用MATLAB仿真预测了所选果蔬至2020年的消费量,并对消费量的发展趋势进行了研究。由于灰色关联法是按发展趋势做分析,不需要典型的分布规律,具有较强的优越性,将其预测结果作为后文研究的依据。

针对问题2,根据范围性、全面性的准则,建立了7条营养素摄入量的评价标准。对目前中国不同年龄段、不同性别居民的膳食纤维、维生素、矿物质摄入量的合理性进行了评价。根据果蔬的消费趋势,利用营养素摄入量评价标准来判断至2020年中国居民人体营养健康状况,结论总体趋于好转。此外,制作了果蔬营养成分摄入状况检测软件,将研究成果充分转化为可供平常人查询营养状况的平台,见图10。

针对问题3,根据营养互替性、营养必需性和成本最低性的准则,运用单纯形法建立了消费产品选择模型。对同一地域、不同季节,同一季节、不同地域的果蔬消费选择分别运用模型进行了求解,得到了相应的果蔬人均消费量,发现替换营养素相似、价格差异较大的果蔬,可以使人们以较低购买成本满足自身营养需求。

针对问题 4，根据营养均衡性、消费成本较低性、种植收益较高性、综合性和平等性的准则，运用多目标优化的加权法建立了果蔬生产规模战略调整模型，得到了消费者与种植者均较为满意的非劣解，并给出了各果蔬年度人均消费量。提出了至 2020 年的四条果蔬生产调整战略：合理布局果蔬种植种类；提升对各类果蔬出售的信息化程度；加大对各类果蔬培养的基地化程度；加大低成本果蔬的进口程度，加大国内高经济效益果蔬的出口程度。

本文建立了多角度、考虑因素较全面、相对结合国情的一系列模型，意在为人体营养健康角度的中国果蔬发展战略研究提供相对客观数据支撑与辅助决策。然而，我国相关部门的统计数据并不十分全面、准确，而数学模型又不可能完全准确地抽象出发展中的现实事物之间的关系。根据存在一定缺陷的模型，又使用不完全正确的数据进行预测，得到的结果往往只是一个果蔬生产的发展趋势，甚至是一个错误的发展趋势，而绝不可能是一个完全正确、精确的解。因此，本文的模型只能用来辅助决策，而我国的人体营养健康角度的果蔬发展还需要良性的政策激励，任重而道远。

论文最后给出了对相关部门的政策建议。

**关键词：** 指标体系、单纯形法、多目标优化、果蔬营养成分摄入状况检测软件

## 目录

一、问题的重述.....	1
二、问题的背景.....	2
三、合理假设及符号系统.....	2
3.1 合理假设.....	2
3.2 符号系统.....	2
四、问题的分析.....	3
4.1 对问题一的分析.....	3
4.2 对问题二的分析.....	4
4.3 对问题三的分析.....	4
4.4 对问题四的分析.....	5
4.5 对问题五的分析.....	5
五、建模前的准备.....	5
5.1 相关概念的理解.....	5
5.2 数据的收集、整理与修正.....	6
5.3 相关指标的选取和指标体系的建立及优化.....	6
5.4 单位的使用.....	7
六、模型的建立与求解.....	8
6.1 对问题一的求解.....	8
6.1.1 主要水果和蔬菜品种筛选模型的建立.....	8
6.1.2 水果和蔬菜消费量预测估计模型的建立.....	13
6.1.2.1 回归分析预测估计模型.....	14
6.1.2.2 灰色关联分析预测估计模型.....	17
6.1.2.3 马尔科夫链预测估计模型.....	22
6.1.2.4 预测模型的选择.....	25
6.2 对问题二的求解.....	25
6.2.1 对目前中国居民各种营养素的年摄入水平合理性的评价.....	25
6.2.1.1 对目前中国居民各种维生素的年摄入水平合理性的评价.....	26
6.2.1.2 对目前中国居民各种矿物质的年摄入水平合理性的评价.....	28
6.2.1.3 对目前中国居民膳食纤维的年摄入水平合理性的评价.....	29
6.2.2 对 2020 年中国居民人体营养健康状况好坏的判断.....	30
6.2.2.1 对 2020 年中国居民各种维生素的年摄入水平变化趋势的分析.....	30
6.2.2.2 对 2020 年中国居民各种矿物质的年摄入水平变化趋势的分析.....	31
6.2.2.3 对 2020 年中国居民膳食纤维的年摄入水平变化趋势的分析.....	32
6.2.3 小结.....	32
6.3 对问题三的求解.....	34
6.3.1 消费产品选择模型的建立.....	34
6.3.2 同一季节不同地域的果蔬消费产品选择.....	35
6.3.3 同一地域不同季节的果蔬消费产品选择.....	39
6.3.4 不同年份果蔬消费产品的分析.....	45
6.4 对问题四的求解.....	46
6.4.1 果蔬生产规模战略调整模型的建立.....	46
6.4.2 果蔬生产规模战略调整模型的求解.....	48

6.4.3 调整战略的提出.....	50
6.5 给相关部门的政策建议.....	51
6.5.1 平衡多种类果蔬的种植，全面提升居民营养量的摄入.....	51
6.5.2 加强市场调控，降低居民购买成本.....	51
6.5.3 按不同地域、季节合理布局果蔬种植种类，降低居民购买成本.....	51
6.5.4 控制进出口贸易，优化种植产业，提升种植者收益.....	52
6.5.5 加大对各类果蔬培养的基地化程度，提升种植者收益 <sup>[9]</sup> .....	52
6.5.6 提升果蔬出售的信息化程度，提升种植者收益，降低居民购买成本.....	52
6.5.7 完善统计部门职能，提升统计数据质量.....	52
七、模型优缺点.....	52

## 一、问题的重述

近年来,随着我国居民生活水平的不断提高,人们越来越关注人体的营养均衡,然而根据我国统计部门权威资料显示,多数居民喜食、饱食、偏食、忽视人体健康所需的营养均衡的传统饮食习惯尚未根本扭转,这不仅影响了我国居民的身体健康,更使得我国果蔬消费(品种和数量)在满足居民身体健康所需均衡营养的意义下,近乎盲目无序,进而影响果蔬的生产。因此,我们必须立足现实,尊重规律,借鉴国外,既考虑到居民的营养均衡,又要考虑降低购买成本,同时使得种植者获取较大收益,在全面充分考虑国家战略规划(进出口贸易、可耕地面积等因素)的基础上,向相关部门提出到 2020 年我国水果和蔬菜产品生产的调整战略和政策建议,需要解决以下问题。

1、在全面并合理考虑相关部门统计资料的前提下,确定主要的水果和蔬菜品种进行研究,而确定的依据为主要的水果、蔬菜品种不仅在总计产量应分别超过各自总产量的 90%,同时选取的果蔬品种所含营养素的成分以及含量都应当满足研究需要,在满足上述条件的情况下,筛选出水果和蔬菜的主要品种,并用多种方法建立数学模型对消费量进行估计,研究发展趋势。

2、分析我国居民矿物质、维生素、膳食纤维等营养素的摄入现状,通过权威资料中发布的人体健康所需的各种营养成分范围以及第一问中预测的人均消费结果,判断我国居民目前矿物质、维生素、膳食纤维等营养的年摄入水平是否合理按照水果和蔬菜近期的消费趋势,预测至 2020 年,中国居民的人体营养健康状况是趋于好转还是恶化。

3、由于不同的蔬菜、水果尽管各种营养素含量各不相同,但营养素的种类大致相近,存在着食用功能的相似性。所以,水果与水果之间、蔬菜与蔬菜之间、水果与蔬菜之间从营养学角度在一定程度上可以相互替代、相互补充。因为每种蔬菜、水果所含有的维生素、矿物质、膳食纤维成分、含量不尽相同,价格也有差异,因而在保证营养均衡满足健康需要条件下,为当今中国居民(可以分区域分季节)提供主要的水果和蔬菜产品的按年度合理人均消费量,使人们能够以较低的购买成本(假定各品种价格按照原有趋势合理变动)满足自身的营养健康需要。

4、为实现人体营养均衡满足健康需要,国家可能需要对水果和蔬菜各品种的生产规模做出战略性调整。一方面国家要考虑到居民人体的营养均衡,并使营养摄入量尽量在合理范围内;另一方面也要顾及居民的购买成本,使其购买成本尽量低;同时还要使种植者能够尽量获得较大收益;而且,作为国家宏观战略,还要考虑进出口贸易、土地面积等其他因素。在充分考虑的基础上,建立数学模型重新计算中国居民主要的水果和蔬菜产品的按年度合理人均消费量,并给出到 2020 年我国水果和蔬菜产品生产的调整战略。

5、通过上述的研究结论,向相关部门提出 1000 字的政策建议。

## 二、问题的背景

据相关资料显示,人体需要的营养素主要有蛋白质、脂肪、维生素、矿物质、糖和水。其中维生素对于维持人体新陈代谢的生理功能是不可或缺的,多达 30 余种,分为脂溶性维生素(如维生素 A、D、E、K 等)和水溶性维生素(如维生素 B1、B2、B6、B12、C 等)。矿物质无机盐等亦是构成人体的重要成分,约占人体体重的 5%,主要有钙、钾、硫等以及微量元素铁、锌等。另外适量地补充膳食纤维对促进良好的消化和排泄固体废物有着举足轻重的作用。

水果和蔬菜是重要的农产品,主要为人体提供矿物质、维生素、膳食纤维。近年来,中国水果和蔬菜种植面积和产量迅速增长,水果和蔬菜品种也日益丰富,中国居民生活水平不断提高,人们对人体营养均衡的意识也有所增强。然而多数中国居民喜食、饱食、偏食、忽视人体健康所需的营养均衡的传统饮食习惯尚未根本扭转,这就使得我国的果蔬消费(品种和数量)在满足居民身体健康所需均衡营养的意义下,近乎盲目无序,进而影响到果蔬生产。

## 三、合理假设及符号系统

### 3.1 合理假设

假设一: 各类果蔬的零售价等于批发价(全国各地零售价数据不全)

假设二: 文中所使用的附件、种植业管理司以及 USDA、FAOSTAT 中数据均为客观数据

### 3.2 符号系统

表 1

$A_i$	各种营养素的全国人民年应摄入量总和
$x_m$	选取的 $m$ 种水果产量 ( $x_1$ : 苹果, $x_2$ : 梨, $x_3$ : 桃子, $x_4$ : 葡萄, $x_5$ : 香蕉, $x_6$ : 橘子, $x_7$ : 柿子, $x_8$ : 大枣, $x_9$ : 荔枝, $x_{10}$ : 龙眼, $x_{11}$ : 猕猴桃, $x_{12}$ : 菠萝)
$x_n$	选取的 $n-m$ 种水果产量 ( $x_{13}$ : 胡萝卜, $x_{14}$ : 萝卜, $x_{15}$ : 大白菜, $x_{16}$ : 菠菜, $x_{17}$ : 芹菜, $x_{18}$ : 西红柿, $x_{19}$ : 茄子, $x_{20}$ : 黄光, $x_{21}$ : 土豆)
$A_{i+}$	为第 $i$ 种营养素的全国人民年应摄入量上限
$A_{i-}$	为第 $i$ 种营养素的全国人民年应摄入量下限

$a_{ij}$	为 $x_j$ 所对应的水果（或蔬菜）所含的第 $i$ 种营养素含量
$X_1$	为水果的年总产量
$X_2$	为蔬菜的年总产量
$S$	每100g食物含膳食纤维（克）
$B1$	每100g食物含维生素A（微克）
$B2$	每100g食物含维生素B1（微克）
$B3$	每100g食物含维生素B2（毫克）
$B4$	每100g食物含维生素C（毫克）
$B5$	每100g食物含维生素E（毫克）
$B6$	每100g食物含胡萝卜素（微克）
$B7$	每100g食物含烟酸（微克）
$C1$	每100g食物含钙（毫克）
$C2$	每100g食物含铁（毫克）
$C3$	每100g食物含磷（毫克）
$C4$	每100g食物含钾（毫克）
$C5$	每100g食物含钠（毫克）
$C6$	每100g食物含铜（毫克）
$C7$	每100g食物含镁（毫克）
$C8$	每100g食物含锌（毫克）
$C9$	每100g食物含硒（微克）
$c$	价格系数即消费者购买各果蔬的单价
$d$	收益系数即种植者出售各果蔬的单价

## 四、问题的分析

### 4.1 对问题一的分析

问题一要求选择选取主要的水果和蔬菜进行研究，依据选取主要蔬菜和水果（主要的水果、蔬菜品种不仅在总计产量应分别超过各自总产量的 90%，同时选取的果蔬品种所含营养素的成分以及含量都应当满足后续的研究需要），并通过多种方法建立数学模型对消费量的估计并研究发展趋势，问题一的主要要求就是选取主要蔬菜和水果的品种，建立数学模型估计消费量并研究其趋势。需要解决的难点有以下几点：

- 1、对主要蔬菜、水果的产量要求与统计部门发布指标不一致，如何选取指标。
- 2、对于主要蔬菜、水果的成分和含量满足研究需要，需要与后续的研究工作结合，如何结合。
- 3、关于蔬菜水果的消费量是总产量减去损耗量，是否需要考虑更多的因素。



4、运用多种方法对消费量进行数学建模，除了将损耗率建立为一种模型，其他模型应当依据什么指标。

5、运用数学模型研究发展趋势，不同的数学模型建立指标不同，需要建立不同指标对消费量的影响，并且不同的数学模型之间的指标不能存在较大的联系，否则会影响模型的全面性。

通过上述分析的难点可知，解决问题的关键在于指标的选取，而指标选取的关键在于参数的设定，如果参数设置错误则会导致模型建立失败。

解决问题的方法是通过我国权威部门发布的统计资料进行参数的选取，结合营养膳食的标准，选取合理的区间。在考虑水果和蔬菜的消费量时还应当考虑进口和出口的差额，这也便于与后续的问题展开讨论，同时对于较为缺乏的统计资料，则结合世界粮农组织数据库进行补充，以确保指标选取的合理性和数学模型建立的正确性。

#### 4.2 对问题二的分析

问题二中要求明确我国居民矿物质、维生素、膳食纤维等营养素的摄入现状，并充分结合人体健康所需的各种营养成分以及问题一中预测的人均消费结果，评价目前我国的营养素年摄入量是否合理，按照所选蔬菜水果的消费趋势，预测中国居民的人体营养健康状况。

主要难点有以下几点：

1、建立什么样的模型来评价年摄入水平是否合理。

2、影响水果和蔬菜的消费趋势的指标应当如何选择。

3、根据建立的数学模型，按照近年的消费趋势评价 2020 年时人体的营养健康状况趋于好转还是恶化，对于健康状况的标准是应当如何确定。

通过上述的分析可知，问题的关键还是取决于模型的建立和评价指标体系的确定。

解决问题的方法，在世界卫生组织（World Health Organization）确定的标准下，结合中国居民膳食营养素参考摄入量，建立完全符合我国国情及居民生活特点的数学模型，同时考虑人口增长等一系列会影响消费趋势的指标，立足现实，尽可能全面的衡量并评价人体营养的健康状况。

#### 4.3 对问题三的分析

问题三说明不同的蔬菜水果营养素含量不同，但种类大致接近。存在食用功能的相似性，水果与水果、蔬菜与蔬菜、水果和蔬菜之间可以相互替换，针对不同地域及季节的特点，为我国居民提供低成本而符合营养标准的果蔬。

主要有以下几个难点：

1、不同的蔬菜水果虽然营养成分近似，但是含量不同，如何在满足营养均衡满足健康的条件下，进行替换。

2、某些水果或者蔬菜虽然价格较贵，但是营养素含量较高，应当如何取舍。

3、根据区域和季节提供的蔬菜和水果种类，如何划分合理的区间？

4、较低成本的购买必将影响消费量以及拉动种植产业的发展，如何衡量。

针对上述分析的难点，解决办法是尽可能全面的衡量主要种类蔬菜水果的营养均衡以及价格，使得在购买价格较低的情况下，营养素能够满足人体所需。

#### 4.4 对问题四的分析

问题四指出在满足我国人体营养均衡的条件下，调整各种蔬菜水果的生产规模，一方面国家要考虑到居民人体的营养均衡，并使营养摄入量尽量在合理范围内；另一方面也要顾及居民的购买成本，使其购买成本尽量低；同时还要使种植者能够尽量获得较大收益；而且，作为国家宏观战略，还要考虑进出口贸易、土地面积等其他因素。

存在难点如下：

1、从人体营养均衡、购买成本以及种植商的收益考虑最优化，如何把握各种指标之间的内在联系。

2、影响上述指标的因素还有很多，应当如何取舍。

3、考虑进出口贸易、可耕地面积、地域和季节的不同，如何从国家的角度衡量种植的水果和蔬菜战略。

针对上述难点，在分析问题时应同时协同各个要素之间的联系，进行最优化，通过仿真分析预测每年的变化趋势，拟合并得出相对应的国家的调整。

#### 4.5 对问题五的分析

要求根据前述问题的研究，提供政策和建议，主要存在以下难点：

1、由于数据的来源存在一定的误差，可能会导致预测存在一定的偏颇。

2、国家的战略规划涉及的面比较广，需要考虑其他方面的影响

针对上述难点，在数学模型的建立以及指标的选取时，尽可能多的选取我国权威部门提供的资料，减少客观因素导致的误差，立足现实和国情，得出较为符合实际的政策建议。

## 五、建模前的准备

#### 5.1 相关概念的理解

##### 1、对总产量与总计产量的理解

总产量与总计产量含义相同，前者为所有（水果或蔬菜）品种的产量，后者为主要（水果或蔬菜）品种的产量。

##### 2、对问题一中满足研究的需求的理解

首先产量要达到要求；其次，营养素要有代表性，即包含各种营养素有自己的特色，不能需要什么营养素，那个品种却没有，营养素太相似的品种应尽量回避，但要顾及产量。研究的需要是结合整个问题研究的目的，同时兼顾后面的问题。

##### 3、对损耗率的理解

损耗率为水果和蔬菜浪费掉的部分。水果和蔬菜的损耗有三个部分：从田间地头到大市场损耗率、大市场到零售市场损耗率、零售市场到餐桌的损耗率。通过损耗率可以计算消费量。

$$\text{消费量} = \text{总产量} \times (1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2)(1 - \alpha_3)$$

其中， $\alpha_1$  为从田间地头到大市场损耗率， $\alpha_2$  为大市场到零售市场损耗率， $\alpha_3$  零售市场到餐桌的损耗率

## 5.2 数据的收集、整理与修正

水果蔬菜的产量数据参考题中所给的三大数据库：中华人民共和国农业部种植业管理司、世界粮农组织数据库和美国农业部数据库。同时参考中国国际统计局《中国统计年鉴 2013》、《中国农业年鉴 2010》以及《中国农业统计资料 2010》。其中种植业司的水果数据库种 2001 年-2010 年的产量数据较为完整，但部分数据与其他数据库有分歧，如 2001 年的水果总产量为 114361600 吨，而中国统计年鉴则为 66580000 吨，通过对比前后几年数据，建议修改为 66580000 吨。种植业管理司水果数据库 2001 年-2010 年水果产量如下表所示。

表 2 数据修正

年 份	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
水果产量 (吨)	<b>114361600</b>	69519800	75515220	83941340	88355020	95992250	105203200	113389200	122463900	128652300

水果蔬菜的营养成分参考附件 1 种的《常见蔬菜营养成分表.xls》《常见水果营养成分表.xls》、以及参考文献中的《中国食物成分表 2002》。对比发现《常见蔬菜营养成分表.xls》表中所给维生素 B1 的单位为微克，应该修改为毫克。常见水果营养成分表.xls》表中所给矿物质无机盐“锌”的单位为微克，应该修改为毫克。并查阅《中国食物成分表 2002》将表格中大量的缺失数据补充完整。

## 5.3 相关指标的选取和指标体系的建立及优化

本题要求根据果蔬的营养素成分及含量来选取课题研究的水果及蔬菜，由于本题给出的营养素种类较多，且未给出部分营养素的人体参考日摄入量。因此，本文在查阅了大量文献资料后，综合考虑了各种营养素对人体的重要性，剔除了一些次要的、对人体影响较小的以及附件中数据资料不完整的营养素，提取了膳食纤维、维生素、矿物质中主要的几种营养素来对课题进行研究。

### 1、指标的建立

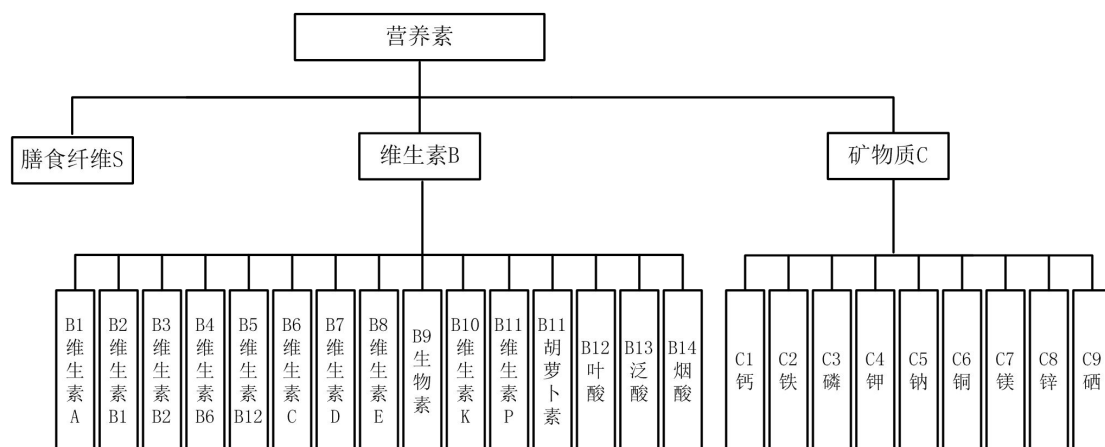


图 1 指标体系

## 2、指标的优化

考虑到常见蔬菜的维生素 B12、维生素 D、生物素、维生素 K、维生素 P、叶酸、泛酸等的含量数据不完整，其他途径获得的数据经过判断后不可靠，故将这几个营养成分省去，获得优化后的指标体系。

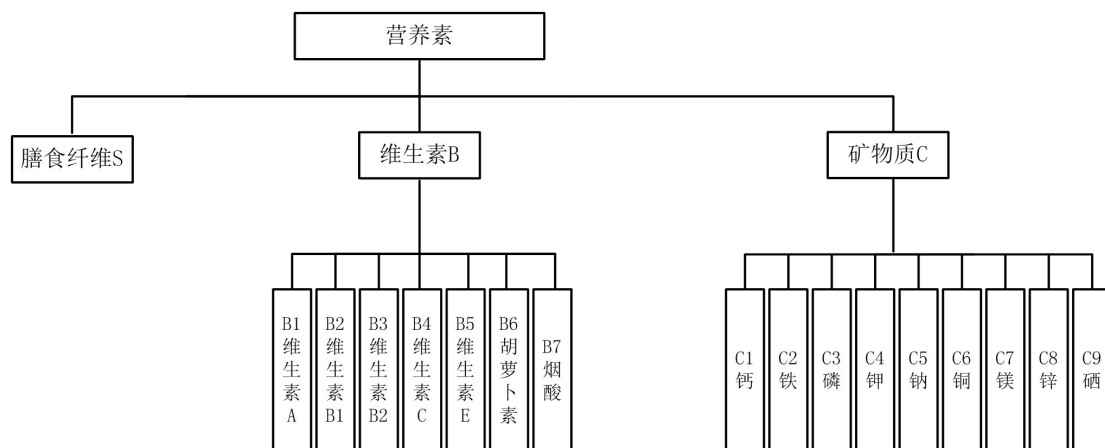


图 2 优化后的指标体系

## 5.4 单位的使用

鉴于营养学会等权威机构以及本题附件所给的数据资料和参考文献《中国食物成分表 2002》中所给的水果蔬菜中营养素的含量都是以 100 克水果蔬菜为前提，本文所给果蔬消费量、年人均消费量等结果（包括数据表格和仿真图）均已 100 克为单位

## 六、模型的建立与求解

### 6.1 对问题一的求解

#### 6.1.1 主要水果和蔬菜品种筛选模型的建立

准则一：产量最大性。所选的水果、蔬菜的品种总计产量尽可能大，超过总产量的 90%。

准则二：营养素必需性。所选取的水果、蔬菜在营养素成分的种类、含量的总量上要满足营养素日摄入量。

在充分理解问题一的前提下，结合筛选准则，对主要水果和蔬菜品种的筛选建模如下：

$$\max z = x_1 + x_2 + \cdots + x_m + x_{m+1} + \cdots + x_n \quad (1.1)$$

$$s.t. \begin{cases} A_{1-} \leq a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \cdots + a_{1m}x_m + a_{1m+1}x_{m+1} \cdots + a_{1n}x_n \leq A_{1+} \\ A_{2-} \leq a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \cdots + a_{2m}x_m + a_{2m+1}x_{m+1} \cdots + a_{2n}x_n \leq A_{2+} \\ \vdots \\ A_{k-} \leq a_{k1}x_1 + a_{k2}x_2 \cdots + a_{km}x_m + a_{km+1}x_{m+1} \cdots + a_{kn}x_n \leq A_{k+} \\ x_1 + x_2 \cdots + x_m \geq 0.9X_1 \\ x_{m+1} + x_{m+2} \cdots + x_n \geq 0.9X_2 \\ x_j \geq 0 (j=1, \cdots, n) \end{cases} \quad (1.2)$$

其中  $x_1, x_2 \cdots x_m$  分别为所选  $m$  种水果的年产量， $x_{m+1}, x_{m+2} \cdots x_n$  分别为所选  $n-m$  种蔬菜的年产量。 $A_i (i=1, 2 \cdots k)$  分别为各种营养素的全国人民年应摄入量总和（为人均日摄入量乘上人口总数乘上 365）， $A_{i+}$  为第  $i$  种营养素的全国人民年应摄入量上限， $A_{i-}$  为第  $i$  种营养素的全国人民年应摄入量下限。 $a_{ij}$  为  $x_j$  所对应的水果（或蔬菜）所含的第  $i$  种营养素含量。 $X_1$  为水果的年总产量， $X_2$  为蔬菜的年总产量。

上述式子也可表示为：

$$\max z = \sum_{i=1}^m x_i + \sum_{j=m+1}^n x_j$$

$$s.t. \begin{cases} A_{s^-} \leq \sum_{i=1}^m a_{si}x_i + \sum_{j=m+1}^n a_{sj}x_j \leq A_{s^+} (s=1,2,\dots,k) \\ \sum_{i=1}^m x_i \geq 0.9X_1 \\ \sum_{j=m+1}^n x_j \geq 0.9X_2 \\ x_j \geq 0 (j=1,\dots,n) \end{cases}$$

可用运筹学理论中的单纯形法解此模型。

首先将此线性规划模型化为标准形式，转化规则见文献[8]

标准形式为：

$$\max z = \sum_{j=1}^n x_j + \sum_{s=1}^k 0 \cdot x_s^a + \sum_{s=1}^k 0 \cdot x_s^b + 0 \cdot x^c + 0 \cdot x^d \quad (1.3)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^m a_{si}x_i + \sum_{j=m+1}^n a_{sj}x_j - x_s^a = A_{s^-} (s=1,2,\dots,k) \\ \sum_{i=1}^m a_{si}x_i + \sum_{j=m+1}^n a_{sj}x_j + x_s^b = A_{s^+} (s=1,2,\dots,k) \\ \sum_{i=1}^m x_i - x^c = 0.9X_1 \\ \sum_{j=m+1}^n x_j - x^d = 0.9X_2 \\ x_j \geq 0 (j=1,\dots,n), x_s^a \geq 0 (s=1,\dots,k), x_s^b \geq 0 (s=1,\dots,k), x^c \geq 0, x^d \geq 0 \end{cases} \quad (1.4)$$

其中  $x_s^a (s=1,\dots,k), x_s^b (s=1,\dots,k), x^c, x^d$  分别为各约束条件的松弛变量。

因网上 D 题专家解释：鉴于农业部种植业管理司数据不完整，主要的蔬菜品种产量占所有蔬菜总产量达 90% 这句话可以不予理会，只需要找到大宗蔬菜就可以了。我们去掉约束条件：

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m x_i - x^c = 0.9X_1 \\ \sum_{j=m+1}^n x_j - x^d = 0.9X_2 \\ x^c \geq 0, x^d \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{得：} \max z = \sum_{j=1}^n x_j + \sum_{s=1}^k 0 \cdot x_s^a + \sum_{s=1}^k 0 \cdot x_s^b \quad (1.5)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^m a_{si}x_i + \sum_{j=m+1}^n a_{sj}x_j - x_s^a = A_{s^-} (s=1,2,\dots,k) \\ \sum_{i=1}^m a_{si}x_i + \sum_{j=m+1}^n a_{sj}x_j + x_s^b = A_{s^+} (s=1,2,\dots,k) \\ x_j \geq 0 (j=1,\dots,n), x_s^a \geq 0 (s=1,\dots,k), x_s^b \geq 0 (s=1,\dots,k) \end{cases} \quad (1.6)$$

单纯形法是非常成熟的算法，网上有许多 C 或 MATLAB 程序可以对算法进行实现，算计步骤如下：

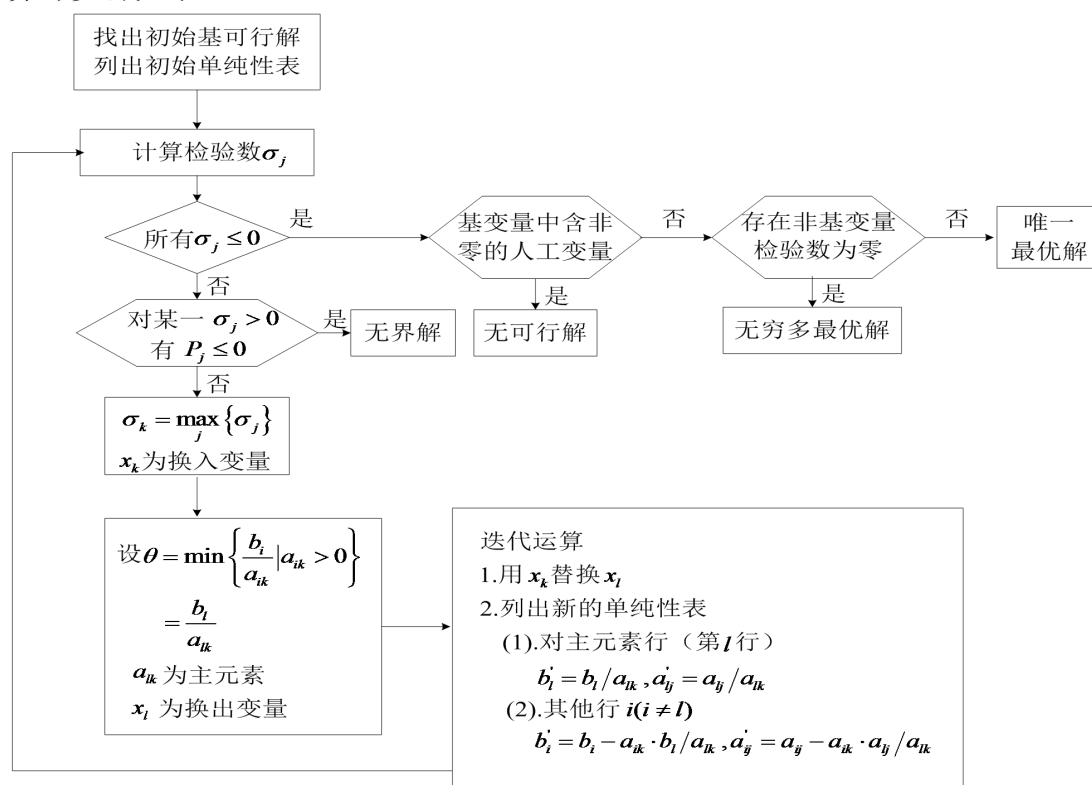


图 3

结合网上 D 题专家解释：“数据能查到什么年份就什么年份，缺失的部分通过合理假设估计。水果也一样处理。数据不是核心，无需一定要找到所有数据。主要的蔬菜品种是指蔬菜产量比较大，且成分和含量有代表性的品种，水果也一样理解。哪些水果是主要的，哪些蔬菜是主要的，看看别人研究的文章。不必什么都查。有些水果，蔬菜平时很少见到，肯定不是主要的”我们根据 D 题附件所给三个数据库的数据对一些种植业管理司未统计的数据进行了处理、拟合。结合专家的解释，最终根据模型选择出了一个可行解。

根据附件 4 《中国居民膳食营养素参考日摄入量》以及上述专家要求运用数学手段选出作为研究的水果和蔬菜，表 3、表 4 为所选主要水果和蔬菜的年人均消费量，表 5、表 6 为相应水果和蔬菜的营养成分及含量。

表 3 2001-2010 年水果年人均消费量（单位/100g）

年份 品种	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年

苹果	149.0922058	142.4049416	155.2415435	173.1559706	174.5790765
梨	59.65938127	62.73504709	65.63481448	70.87011269	74.96365226
桃子	30.94096323	35.24722547	41.1830926	46.68819371	50.47360777
葡萄	18.03699694	21.81611793	25.05720506	27.31389775	27.72326717
香蕉	26.13442759	27.36972991	28.89955814	29.47435934	31.53642168
橘子	73.86114339	75.80870241	84.55326761	93.45888027	98.87803897
柿子	9.654975076	10.53679993	10.80174837	11.95349739	12.99433978
大枣	9.354182551	11.17654769	12.13317801	14.11517295	17.36231375
荔枝	5.422856292	8.605888772	6.311506662	8.686490947	7.995976266
龙眼	3.459998197	5.229353843	5.014751618	5.574112342	5.938825012
猕猴桃	1.377585124	1.604989895	1.859169239	2.291779298	2.541969645
菠萝	6.146621713	5.813761745	5.740947712	5.612797622	5.860446596
年份 品种	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
苹果	188.4737564	200.4583504	213.6645727	225.653176	235.8346944
梨	78.93225046	84.4801801	88.24410063	92.50067318	97.20137851
桃子	54.09648174	59.30165992	62.14666336	65.11439116	67.49911389
葡萄	29.84438678	31.70785247	33.68901365	37.21808642	39.88500807
香蕉	33.21428213	37.33029145	37.32221063	41.87040439	45.10587701
橘子	110.5859936	126.5161604	142.5697277	153.4035243	160.2167319
柿子	13.72634844	15.14923746	15.87379742	16.51143072	18.06223145
大枣	21.18768171	20.92494383	24.96429619	29.03321689	30.40021325
荔枝	8.325954851	9.380061718	8.237175435	9.219686945	9.601377596
龙眼	5.995360486	6.29847742	6.806807866	6.715045616	6.961742865
猕猴桃	2.895838023	3.185303042	3.692404528	4.770261961	5.804560505
菠萝	6.116637454	6.183415082	6.346091954	7.050832776	7.243765388

需要特别说明的是，由于营养学会等权威部门及附件给出的营养素含量 100g 水果（或蔬菜）所含量，即以苹果为例，2001 年人均消费苹果量为  $149 \times 100(g) = 14.9kg$ 。

表 4 2001-2010 年蔬菜年人均消费量（单位/100g）

年份 品种	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年
胡萝卜	89.82763	90.71625	91.24596	91.92135	91.48452
萝卜	265.2736	267.4637	269.8231	264.9188	270.399
大白菜	535.2834	540.1232	537.2639	541.9176	536.7559
菠菜	82.34221	82.36482	82.85802	82.03275	84.17841
芹菜	100.2323	103.3843	106.9023	113.5687	114.82
西红柿	135.3713	150.6252	158.8026	164.2962	167.8548
茄子	139.9242	140.2325	141.8593	145.3842	149.7404
黄瓜	240.2316	245.3421	250.6243	256.4537	266.2325
土豆	297.3154	327.0962	324.93	365.2169	360.6055
年份	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年



品种					
胡萝卜	98.63091	99.36243	99.90526	101.3544	103.7242
萝卜	273.6097	270.2123	267.5727	274.633	272.9525
大白菜	544.1703	543.2834	540.6473	540.0575	542.0258
菠菜	84.20624	84.45932	85.18166	89.39106	88.07108
芹菜	121.0463	119.9821	114.482	119.9814	123.9894
西红柿	171.5453	186.1772	207.5173	237.4242	237.1416
茄子	147.8728	150.3422	154.5204	167.7609	164.8181
黄瓜	280.2957	284.2311	289.7578	302.0327	310.7116
土豆	272.4445	323.0023	350.2211	351.3135	338.7822

说明：如表 4 所示，2001 年人均消费胡萝卜量为  $89 \times 100(g) = 8.9kg$ 。

表 5 所选蔬菜的营养成分（每 100g）

维生素								
符号	S	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
食物名称	膳食纤维 (g)	维生素 A ( $\mu g$ )	维生素 B1 (mg)	维生素 B2 (mg)	维生素 C (mg)	维生素 E (mg)	胡萝卜素 ( $\mu g$ )	烟酸 ( $\mu g$ )
胡萝卜	1.1	688	0.04	0.03	13	0.41	4130	0.6
萝卜	0.6	3	0.03	0.06	18	1	20	0.6
大白菜	0.6	42	0.06	0.07	47	0.92	120	0.8
菠菜	1.7	487	0.04	0.11	32	1.74	2920	0.6
芹菜	1.4	10	0.01	0.08	12	2.21	60	0.4
西红柿	0.5	92	0.03	0.03	19	0.57	550	0.6
茄子	1.3	8	0.02	0.04	5	1013	180	0.6
黄瓜	0.5	15	0.02	0.03	9	0.46	90	0.2
土豆	0.7	5	0.08	0.04	27	0.34	30	1.1
矿物质								
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
钙 (mg)	铁 (mg)	磷 (mg)	钾 (mg)	钠 (mg)	铜 (mg)	镁 (mg)	锌 (mg)	硒 ( $\mu g$ )
32	1	27	190	71.4	0.08	14	0.23	0.63
56	0.3	26	173	60	0.04	16	0.13	0.6
69	0.5	31	130	89.3	0.05	11	0.21	0.33
66	2.9	47	311	85.2	0.1	58	0.85	0.97
48	0.8	50	154	73.8	0.09	10	0.46	0.5
10	0.4	23	163	5	0.06	9	0.13	0.15
24	0.5	28	163	5.4	0.07	15	0.23	0.48
24	0.5	24	102	4.9	0.05	15	0.18	0.38
8	0.8	40	342	2.7	0.12	23	0.37	0.78

表 6 所选水果的营养成分

维生素								
符号	S	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7

食物名称	膳食纤维 (g)	维生素 A ( $\mu\text{g}$ )	维生素 B1 (mg)	维生素 B2 (mg)	维生素 C (mg)	维生素 E (mg)	胡萝卜素 ( $\mu\text{g}$ )	烟酸 ( $\mu\text{g}$ )
苹果	1.2	100	0.01	0.03	8	1.46	600	0.1
梨	2	100	0.03	0.03	4	1.46	0.6	0.2
桃子	1.3	5	0.01	0.03	9	0.7	0.06	0.7
葡萄	0.4	5	0.05	0.03	4	0.34	0.13	0.2
香蕉	1.2	56	0.02	0.04	3	0.5	60	0.7
橘子	0.5	277	0.05	0.04	33	0.45	1.66	0.2
柿子	1.4	20	0.02	0.02	30	1.12	0.12	0.3
大枣	1.9	2	0.06	0.05	297	0.1	0.01	0.86
荔枝	0.5	2	0.02	0.06	36	0.1	0.01	0.7
龙眼	2	106	0.01	0.14	43	0	0.02	1.3
猕猴桃	2.6	66	0.01	0.02	652	1.3	35	0.29
菠萝	1.3	33	0.08	0.02	24	0	0.08	0.2
矿物质								
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
钙 (mg)	铁 (mg)	磷 (mg)	钾 (mg)	钠 (mg)	铜 (mg)	镁 (mg)	锌 (mg)	硒 ( $\mu\text{g}$ )
11	0.1	11	2	0.9	0.06	5	0.01	1
3	0.7	11	115	0.7	0.08	10	0.1	0.98
12	0.5	20	144	1	0.04	8	0.15	0.1
11	0.2	7	124	0.5	0.1	6	0.02	0.5
32	0.4	31	472	0.4	0.14	43	0.17	0.87
35	0.2	18	177	1.3	0.07	16	1	0.45
9	0.2	23	151	0.8	0.06	19	0.08	0.24
16	0.7	51	127	7	0.06	25	1.82	1.02
6	0.5	34	193	1.7	0.16	12	0.17	0.14
6	0.2	30	248	3.9	0.1	10	0.4	0.83
32	0.3	42	144	3.3	1.87	12	0.57	0.28
18	0.5	28	147	0.8	0.07	8	0.14	0.24

由表 5、表 6 可以看出，所选的水果和蔬菜基本上满足题中所给营养成分、含量的要求。

### 6.1.2 水果和蔬菜消费量预测估计模型的建立

预测估计作为一门实用学科，研究内容是如何对未来事物的发展进行科学的估计。预测的方法大体可分为两类：一类是定性分析法，是指人们通过对事物的性质、特点和已有情况分析，依靠主观判断和逻辑分析来预测事物未来发展状况，常用的定性预测法有调查预测法、主观概率法等；另一类是定量分析法，是利用已有的基础数据资料，通过建立数学模型进行计算，来预测事物未来发展状况，常用的定量方法有回归分析法、灰色关联分析法、马尔科夫链法等。

水果和蔬菜的消费量预测是基于往年大量统计资料进行的，运用主观的、定

性的预测往往会造成较大的误差；运用定量的方法对其进行建模，使用模型对大量的实际统计数据进行分析，最后对计算结果进行总结，进而得出一个定性的解，这个解往往比直接主观、定性的预测要更加准确、科学。本文分别运用回归分析法、灰色关联分析法、马尔科夫链法对水果和蔬菜的消费量建立模型并进行预测估计。

根据题意，消费量  $C$  等于生产量  $P$  减去损耗量  $\delta$ ，即：

$$C = P - (1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2)(1 - \alpha_3)P = P - \delta \quad (1.7)$$

其中， $\alpha_1$  为田间地头到大市场损耗率， $\alpha_2$  为大市场到零售市场损耗率， $\alpha_3$  为零售市场到餐桌的损耗率。以种植业管理司的数据库为主，并以附件中所给的两个国外数据库作为参考收集、矫正和整理了相关数据（如 2001 年的水果总产量错误，茄子的维生素 E 含量错误等）。

使用 MATLAB 根据公式(1.7)对整理的生产量数据及损耗量数据进行了计算，考虑人口因素，根据准备二，得到了水果和蔬菜的人均年消费量，见表一、表二。

#### 6.1.2.1 回归分析预测估计模型

回归分析预测法是一种较为常用的定量分析预测法，本题可运用最小二乘估计对未知参数进行估计。

$(\alpha, \beta)$  的最小二乘估计，对一组回归观测值  $(Y_i, x_i)(i=1, 2, \dots, n)$ ，它满足：

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (1.8)$$

最小二乘法是寻找未知参数  $(\alpha, \beta)$  的估计量  $(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$ ，使得

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta} x_i)^2 = \min_{\alpha, \beta} \sum_{i=1}^n (Y_i - \alpha - \beta x_i)^2 \quad (1.9)$$

满足式 (6.4) 的估计量  $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$  称为  $(\alpha, \beta)$  的最小二乘估计，一般采用微分法求解，记

$$Q(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^n (Y_i - \alpha - \beta x_i)^2,$$

$$\left. \frac{\partial Q}{\partial \alpha} \right|_{(\alpha, \beta) = (\hat{\alpha}, \hat{\beta})} = 0, \left. \frac{\partial Q}{\partial \beta} \right|_{(\alpha, \beta) = (\hat{\alpha}, \hat{\beta})} = 0 \quad (1.10)$$

则式 (1.10) 可以写为

$$\begin{aligned} n\hat{\alpha} + n\bar{x}\hat{\beta} &= n\bar{Y}, \\ n\bar{x}\hat{\alpha} + \sum_{i=1}^n x_i^2 \hat{\beta} &= \sum_{i=1}^n x_i Y_i \end{aligned} \quad (1.11)$$

这里,  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ , 由于假设的  $x_i$  互不相同, 式 (1.11) 的系数行列式

$$\begin{vmatrix} n & n\bar{x} \\ n\bar{x} & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{vmatrix} = n \left[ \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right] = n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

不等于零, 故方程组 (1.11) 有唯一解, 其解为

$$\begin{cases} \hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta}\bar{x} \\ \hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i Y_i - n\bar{x}\bar{Y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \end{cases}$$

上述的推导是对一组回归观测值  $(y_i, x_i) (i=1, 2, \dots, n)$  做出的, 当换位  $(Y_i, x_i)$

时便得  $(\alpha, \beta)$  的最小二乘估计量

$$\begin{cases} \hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta}\bar{x}, \\ \hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \end{cases} \quad (1.12)$$

当年份  $x$  确定之后, 通过  $Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$  即可得出本年人均消费量

表 7 水果人均消费量 (单位/100g)

年份 品种	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
苹果	244.2337289	254.8478926	265.4620562	276.0762199	286.6903835
梨	100.9915787	105.2587459	109.5259131	113.7930803	118.0602475
桃子	74.08162736	78.22935246	82.37707757	86.52480267	90.67252777
葡萄	41.32611343	43.52555529	45.72499715	47.924439	50.12388086
香蕉	45.14597907	47.20420141	49.26242374	51.32064608	53.37886841
橘子	169.3627552	179.7950349	190.2273146	200.6595942	211.0918739
柿子	18.63201383	19.56029988	20.48858592	21.41687197	22.34515801
大枣	32.49254909	34.93388989	37.37523069	39.81657149	42.25791229
荔枝	9.976774672	10.30369779	10.6306209	10.95754401	11.28446713
龙眼	7.569629407	7.891480658	8.213331909	8.53518316	8.857034411
猕猴桃	5.475729424	5.925428206	6.375126987	6.824825769	7.27452455
菠萝	6.995783629	7.13837487	7.280966111	7.423557351	7.566148592
年份 品种	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年

苹果	297.3045472	307.9187109	318.5328745	329.1470382	339.7612018
梨	122.3274147	126.5945819	130.8617491	135.1289163	139.3960836
桃子	94.82025288	98.96797798	103.1157031	107.2634282	111.4111533
葡萄	52.32332272	54.52276457	56.72220643	58.92164829	61.12109014
香蕉	55.43709075	57.49531309	59.55353542	61.61175776	63.66998009
橘子	221.5241536	231.9564332	242.3887129	252.8209926	263.2532722
柿子	23.27344406	24.2017301	25.13001614	26.05830219	26.98658823
大枣	44.69925309	47.1405939	49.5819347	52.0232755	54.4646163
荔枝	11.61139024	11.93831335	12.26523647	12.59215958	12.91908269
龙眼	9.178885663	9.500736914	9.822588165	10.14443942	10.46629067
猕猴桃	7.724223332	8.173922113	8.623620895	9.073319676	9.523018458
菠萝	7.708739833	7.851331074	7.993922315	8.136513556	8.279104797

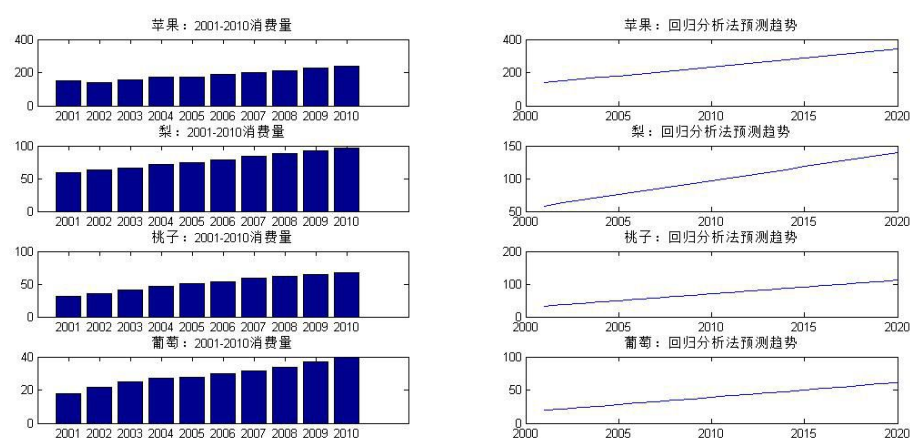


图 4 2011-2020 年四种水果的预测值

同理的，图一所示水果的年人均消费量单位为 100g，2011 年的苹果年人均消费量为  $244 \times 100g = 24.4kg$

表 8 蔬菜人均消费量（单位/100g）

年份 品种	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
胡萝卜	104.901	106.553	108.2051	109.8571	111.5092
萝卜	273.9246	274.6954	275.4661	276.2368	277.0075
大白菜	543.107	543.6441	544.1812	544.7183	545.2554
菠菜	88.51494	89.24352	89.97211	90.70069	91.42927
芹菜	126.8305	129.1925	131.5544	133.9164	136.2784
西红柿	243.7945	255.1262	266.4579	277.7895	289.1212
茄子	166.7747	169.7816	172.7885	175.7954	178.8023
黄瓜	316.7017	324.7251	332.7485	340.7719	348.7953
土豆	346.2748	349.0352	351.7956	354.5561	357.3165
年份 品种	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
胡萝卜	113.1612	114.8133	116.4653	118.1174	119.7694

萝卜	277.7782	278.5489	279.3196	280.0903	280.861
大白菜	545.7926	546.3297	546.8668	547.4039	547.941
菠菜	92.15786	92.88644	93.61502	94.3436	95.07219
芹菜	138.6403	141.0023	143.3642	145.7262	148.0882
西红柿	300.4529	311.7846	323.1163	334.448	345.7797
茄子	181.8092	184.8161	187.823	190.8299	193.8368
黄瓜	356.8187	364.8421	372.8655	380.8888	388.9122
土豆	360.0769	362.8373	365.5978	368.3582	371.1186

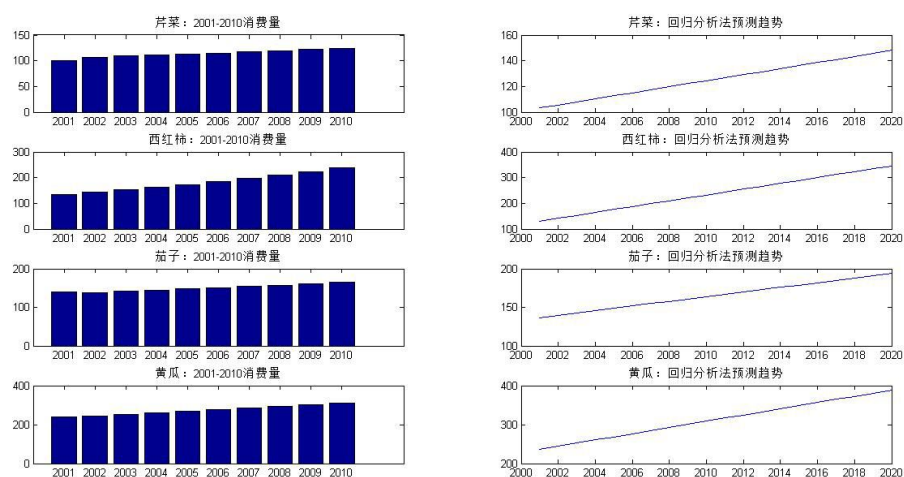


图 5 2011-2020 年四种蔬菜的预测值

由上图可知 2001-2010 年蔬菜的，同理的，图一所示蔬菜的年人均消费量单位为 100g，如 2011 年的芹菜年人均消费量为  $126 \times 100g = 12.6kg$ 。

消费量发展趋势：由图可知，多数水果和蔬菜的消费量发展趋势近似为线性增长，这和种植业管理司所统计 2001-2010 年的权威数据是分不开的。由于种植业管理司统计数据具有明显的一元线性，运用线性回归分析未来水果和蔬菜的消费量具有一定的科学性。

#### 6.1.2.2 灰色关联分析预测估计模型

灰色系统理论是邓聚龙教授于 1982 年提出来的一门新兴理论，该理论是一种运用特定的方法描述信息不完全的系统并进行预测、决策、控制的崭新的系统理论。

灰色关联分析方法是一种新的多因素分析方法，其基本原理是通过对统计序列几何关系的比较来分清系统中多因素的关系的紧密程度，序列曲线的几何形状越接近，则它们之间的灰关联度就越大，反之越小。在对复杂系统进行系统分析时，以往大都采用统计分析或者其它分析法，灰色关联分析法比起它们的优势体现在：灰关联分析是按发展趋势做分析，因此对样本量的多少没有过多的要求，也不需要典型的分布规律，而且计算量比较小，其结果与定性分析结果会比较吻合。因此，灰关联分析是系统分析中比较简单、可靠的一种分析方法。

灰色系统关联分析的具体计算步骤如下

##### 1、参考数列和比较数列的确定

- (1) 参考数列——反映系统行为特征的数据序列
- (2) 比较数列——影响系统行为的因素组成的数据序列

## 2、无量纲化处理参考数列和比较数列

- (1) 初值化——矩阵中的每个数均除以第一个数得到的新矩阵
- (2) 均值化——矩阵中的每个数均除以用矩阵所有元素的平均值得到的新矩阵

阵

- (3) 区间相对值化

求参考数列与比较数列的灰色关联系数  $\xi(X_i)$

参考数列  $X_0$

比较数列  $X_1, X_2, X_3, \dots$

比较数列相对于参考数列在曲线各点的关联系数  $\xi(X_i)$

$$\xi(X_i) = \frac{\min \min |\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)| + \rho \max \max |\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|}{|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)| + \rho \max \max |\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|} \quad (1.13)$$

其中  $\rho$  称为分辨系数,  $\rho \in (0,1)$ , 常取 0.5。实数第二级最小差, 记为  $\Delta \min$ 。

两级最大差, 记为  $\Delta \max$ 。为各比较数列  $X_i$  曲线上的每一个点与参考数列  $X_0$  曲线上的每一个点的绝对差值, 记为  $\Delta_{0i}(k)$ 。所以关联系数  $\xi(X_i)$  也可简化如下列公式:

$$\xi_{0i} = \frac{\Delta(\min) + \rho \Delta(\max)}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta(\max)} \quad (1.14)$$

## 4、求关联度 $r_i$

关联系数——比较数列与参考数列在各个时刻(即曲线中的各点)的关联程度值, 所以它的数不止一个, 而信息过于分散不便于进行整体性比较。因此有必要将各个时刻(即曲线中的各点)的关联系数集中为一个值, 即求其平均值, 作为比较数列与参考数列间关联程度的数量表示, 关联度  $r_i$  公式如下:

$$r = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \eta(k) \text{ 称为 } X^{(0)}(k) \text{ 与 } \hat{X}^{(0)}(k) \text{ 的关联度}$$

## 5、排关联序

因素间的关联程度, 主要是用关联度的大小次序描述, 而不仅是关联度的大小。将  $m$  个子序列对同一母序列的关联度按大小顺序排列起来, 便组成了关联序, 记为  $\{x\}$ , 它反映了对于母序列来说各子序列的“优劣”关系。若  $r_{0i} > r_{0j}$ , 则称

$\{x_i\}$  对于同一母序列  $\{x_0\}$  优于  $\{x_j\}$ ，记为  $\{x_i\} > \{x_j\}$ ；

使用 MATLAB 编程，将之前年份的消费量序列输入后即可得出后几年的消费量。

表 9 水果人均消费量（单位/100g）

年份 品种	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
苹果	253.8495	269.6704	286.4773	304.3317	323.2989
梨	103.5824	109.433	115.614	122.1441	129.043
桃子	75.79543	81.5248	87.68726	94.31554	101.4448
葡萄	42.35117	45.38216	48.63008	52.11044	55.83988
香蕉	47.14949	50.28502	53.62907	57.19551	60.99912
橘子	182.4386	200.9026	221.2353	243.6259	268.2825
柿子	19.34107	20.71046	22.1768	23.74696	25.42829
大枣	35.98081	40.81264	46.29333	52.51001	59.56153
荔枝	9.65129	9.907939	10.17141	10.44189	10.71956
龙眼	7.383111	7.689253	8.00809	8.340147	8.685973
猕猴桃	6.452256	7.583208	8.912394	10.47456	12.31054
菠萝	7.254125	7.486427	7.726169	7.973588	8.228931
年份 品种	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
苹果	343.4482	364.8532	387.5923	411.7486	437.4105
梨	136.3317	144.0319	152.1672	160.7619	169.8421
桃子	109.1131	117.3609	126.2322	135.7741	146.0373
葡萄	59.83623	64.1186	68.70744	73.6247	78.89387
香蕉	65.05568	69.38201	73.99605	78.91693	84.16505
橘子	295.4345	325.3345	358.2605	394.5189	434.4469
柿子	27.22867	29.15651	31.22085	33.43135	35.79835
大枣	67.55999	76.63255	86.92346	98.59632	111.8367
荔枝	11.00462	11.29726	11.59767	11.90608	12.22269
龙眼	9.046139	9.421239	9.811892	10.21874	10.64247
猕猴桃	14.46834	17.00435	19.98487	23.48782	27.60477
菠萝	8.49245	8.764408	9.045075	9.33473	9.633661



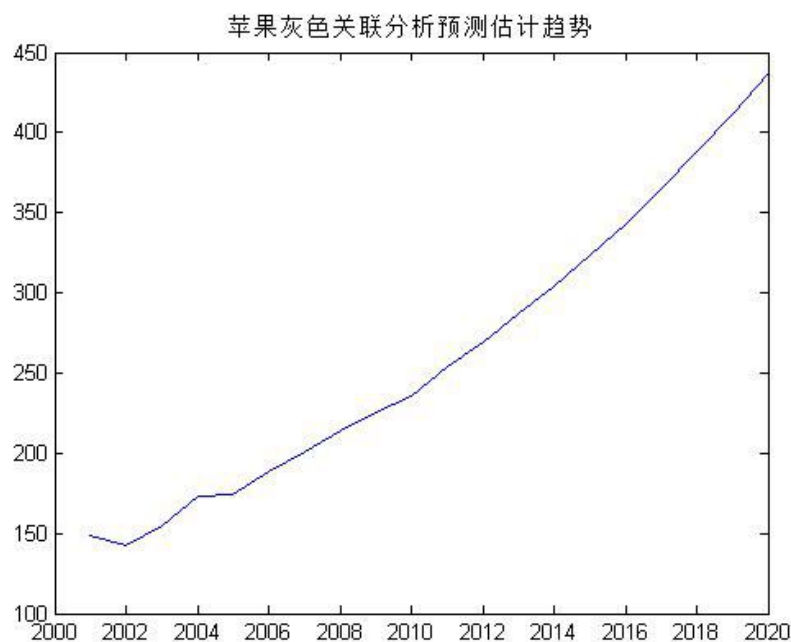


图 6 主要水果中苹果年人均消费量趋势

水果的年人均消费量单位为 100g，若 2001 年消费量为 150，则该水果年人均消费量为  $150 \times 100g = 15kg$ 。

下面以苹果为例，使用客观、权威的数据（来自附件及种植业管理司），运行 MATLAB 对灰色关联分析预测估计模型求解，发现数据适合用于中长期预测。具体结果如下所示：

水果：苹果

请输入原始数据:149.0922058 142.4049416 155.2415435

173.1559706 174.5790765 188.4737564 200.4583504

213.6645727 225.653176 235.8346944

请输入所要预测的阶数:10

1. 原始数据:

(149.0922) (142.4049) (155.2415) (173.156) (174.5791) (188.4738) (200.4584) (213.6646) (225.6532) (235.8347)

2. 一次累加有 1-AGO 生成的数据:

(149.0922) (291.4971) (446.7387) (619.8947) (794.4737) (982.9475) (1183.4058) (1397.0704) (1622.7236) (1858.5583)

3. 一次累加 1-AGO 生成的数据的模拟值:

(149.0922) (296.4128) (452.915) (619.171) (795.7888) (983.4141) (1182.7329) (1394.4741) (1619.4119) (1858.3686) (2112.2181) (2381.8885) (2668.3659) (2972.6976) (3295.9965) (3639.4447) (4004.2979) (4391.8903) (4803.6389) (5241.0494)

4. 原始数据的模拟值:

(149.0922) (147.3206) (156.5022) (166.256) (176.6178) (187.6253) (199.3188) (211.7412) (224.9377) (238.9568) (253.8495) (269.6704) (286.4773) (304.3317) (323.2989) (343.4482) (364.8532) (387.5923) (411.7486) (437.4105)

5. 后验差比(均方差比值):  $C=0.098993$

由于  $C \leq 0.35$  则此模型精度等级为 1 级 好。

6. 相对误差序列:

$(-7.6253e-016) (-0.034519) (-0.0081206) (0.039848) (-0.011678) (0.0045018) (0.0056845) (0.0090019) (0.0031705) (-0.013238)$

1 如果相对误差为 0.01 则模型精度等级为 1 级 好

2 如果相对误差为 0.05 则模型精度等级为 2 级 合格

3 如果相对误差为 0.10 则模型精度等级为 3 级 勉强

4 如果相对误差为 0.20 则模型精度等级为 4 级 不合格

7. 计算小误差概率:  $P=1$

由于  $P \geq 0.95$  则此模型精度等级为 1 级 好。

8. 发展系数:  $a=-0.060459$

灰作用量:  $u=133.8981$

由于  $-a < 0.3$  则此模型适合用于中长期预测。

其他水果同理可得, 运行结果见附件。

表 10 蔬菜人均消费量 (单位/100g)

年份 品种	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
胡萝卜	105.6485	107.6085	109.6048	111.6381	113.7092
萝卜	273.6525	274.3544	275.058	275.7635	276.4708
大白菜	542.3595	542.6934	543.0275	543.3618	543.6963
菠菜	88.92888	89.79504	90.66964	91.55275	92.44447
芹菜	126.2835	128.62	130.9997	133.4234	135.892
西红柿	252.6275	269.1246	286.6991	305.4211	325.3658
茄子	168.4251	172.111	175.8776	179.7266	183.6598
黄瓜	320.2466	330.0742	340.2033	350.6433	361.4037
土豆	339.776	340.7728	341.7725	342.7751	343.7806
年份 品种	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
胡萝卜	115.8187	117.9674	120.1559	122.385	124.6554
萝卜	277.1799	277.8908	278.6035	279.3181	280.0345
大白菜	544.031	544.3659	544.701	545.0363	545.3719
菠菜	93.34487	94.25404	95.17207	96.09903	97.03503
芹菜	138.4062	140.967	143.5752	146.2316	148.9371
西红柿	346.6129	369.2475	393.3602	419.0475	446.4122
茄子	187.6791	191.7864	195.9835	200.2725	204.6554
黄瓜	372.4943	383.9252	395.707	407.8502	420.3662
土豆	344.7891	345.8006	346.815	347.8324	348.8528

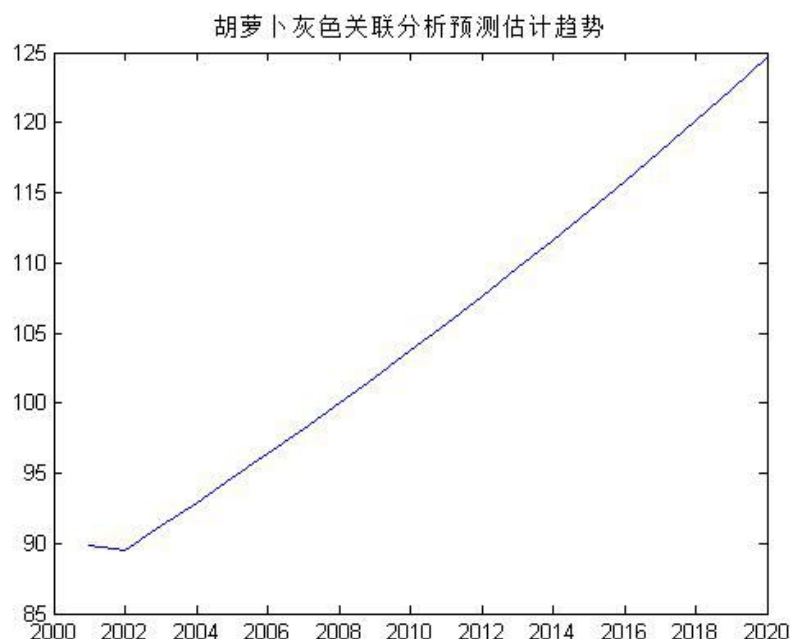


图 7 主要蔬菜中胡萝卜消费量趋势

蔬菜的年人均消费量单位为 100g，若 2001 年消费量为 90，则该蔬菜年人均消费量为  $90 \times 100g = 9kg$ 。

胡萝卜的发展系数  $a = -0.018382$ ，灰作用量  $u = 87.0681$ 。由于  $-a < 0.3$ ，胡萝卜的预测适合用于中长期预测。

其他蔬菜也使用 MATLAB 进行了预测，预测结果见附件。

上述 matlab 程序立足于国家权威部门发布数据，运用灰色关联分析预测估计方法，较为合理的预测出 2011-2020 人均蔬菜消费量。

消费量发展趋势：根据表格统计、程序演示以及仿真分析，借助于灰色关联法分析其诸多因素的内在联系，对主要水果和蔬菜消费量发展趋势进行了预测，得到的趋势与回归分析所得趋势相似。但比回归分析所得趋势相对平滑，与定性分析结果会比较吻合。这是基于种植业管理司统计的权威数据进行的预测，具有一定的权威性和客观性。

### 6.1.2.3 马尔科夫链预测估计模型

由题意可知，果蔬的消费量属于离散时间马尔科夫链的定义为：

一个随机过程  $X = \{x_n, n = 0, 1, 2, \dots\}$ ，其中  $x_n$  表示系统在“时间”  $n$  所处的状态，不妨假设随机变量  $x_n$  取值于状态空间  $S$  ( $S = \{0, 1, 2, \dots\}$ )，若  $x_n = i$ ，则认为系统在时间  $n$  处于状态  $i$ ，此随机序列对于所有的属于  $S$  的  $i, j, i_0, \dots, i_{n-1}; n = 0, 1, \dots$

均满足  $P(t_0, \xi_i; t_2, \xi_j) = \sum_{k=1}^n P(t_0, \xi_i; t_1, \xi_j) P(t_1, \xi_k; t_2, \xi_j)$  即已知现在，未来与历史无

关。由定义可知

$$\begin{aligned}
& P\{\xi(0)=i_0, \xi(1)=i_1, \dots, \xi(n)=i_n\} \\
&= P\{\xi(n)=i_n / \xi(0)=i_0, \xi(1)=i_1, \dots, \xi(n-1)=i_{n-1}\} \\
&= P\{\xi(n)=i_n / \xi(n-1)=i_{n-1}\} P\{\xi(0)=i_0, \xi(1)=i_1, \dots, \xi(n-1)=i_{n-1}\} \\
&= \dots \\
&= P\{\xi(n)=i_n / \xi(n-1)=i_{n-1}\} \bullet P\{\xi(n-1)=i_{n-1} / \xi(n-2)=i_{n-2}\} \cdots \bullet P\{\xi(1)=i_1 / \xi(0)=i_0\}
\end{aligned}$$

建立转移矩阵

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & \cdots \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{i0} & P_{i1} & P_{i2} & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{bmatrix}$$

Markov 链是一种特殊的随机时间序列，其特点是序列将来的状态只与现在的状态有关而与过去的状态无关，由于果蔬的消费量的变化要受到多种因素的影响，有些因素是无法控制的，可以视其为随机因素；而且，果蔬的人均消费量可以合理的假定为只与当年和上年情况如政策、价格、其他可替代食品等因素有关，与之前的情形关系不大，具有无记忆性，由此可知符合 Markov 的原理，因此，可以利用 Markov 链对中国果蔬年人均消费量进行趋势分析。

### 1、状态划分及构造

设果蔬年平均消费量环比增减率就是果蔬消费量年增长量与起始年果蔬消费量的比值，用百分比表示。按环比增减率的大小将果蔬年人均消费量的变化分为大减、平稳减少、平稳增加、大增 4 种状态。即为状态空间  $S$  ( $S = \{0,1,2,3\}$ )。

表 11 年平均消费量状态分类

等级	大 减	平稳减少	平稳增加	大 增
环比增减率/%	$(-\infty, -3)$	$(-3,0)$	$(0,3)$	$(3, +\infty)$
状态	0	1	2	3

设第  $i$  种果蔬第  $j$  年的年人均消费量为  $\overline{C}_{i,j}$ ，则有果蔬的年人均消费量环比增

减率  $\eta_{i,j} = \frac{\overline{C}_{i,j} - \overline{C}_{i,j-1}}{\overline{C}_{i,j-1}}$ 。求得第  $i$  种果蔬各状态下的平均增减率  $\overline{\eta}_{i1}$ ， $\overline{\eta}_{i2}$ ， $\overline{\eta}_{i3}$  和  $\overline{\eta}_{i4}$ 。

根据年人均消费量状态分类，建立状态时间序列表。

### 2、计算状态转移次数和状态转移矩阵

所研究的系统中，转移概率的理论分布是未知的，需要用转移频率来估计。由状态时间序列表可以得到转移次数矩阵  $M_i$ ，并得到年人均消费量的一次转移概率矩阵  $P_i$ 。

### 3、年人均消费量的趋势预测

求解一次转移概率矩阵  $P_i$ ，并分析结果。计算出年人均消费量增减率的极限

概率分布  $P_{ij}$  以及数学期望  $E_i$ 。这里有个假设，假设经过较长时期以后的年人均变化率状态空间的 4 种状态的平均增减率与 2001-2010 年相同。

第  $i$  种果蔬第  $k+1$  年的年人均消费量就为

$$\overline{C_{i,k+1}} = \overline{C_{i,k}} \times (1 + E_i)$$

其中， $E_i$  为第  $i$  种果蔬的年人均消费量增减率的数学期望。

在充分结合国家权威统计部门提供的数据后，以主要水果中苹果和主要蔬菜中胡萝卜为例，利用马尔科夫链预测估计模型进行数据拟合。

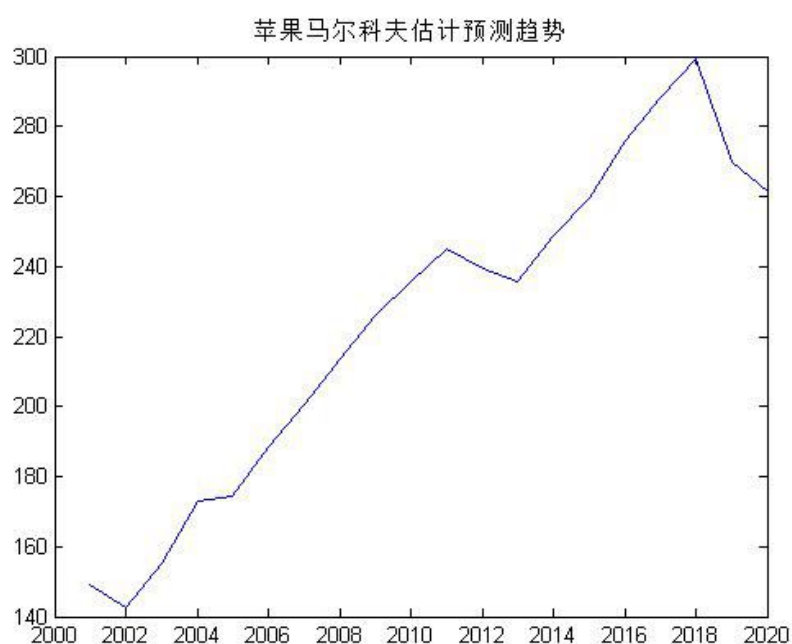


图 8 主要水果中苹果年人均消费量趋势

水果的年人均消费量单位为 100g，若 2001 年消费量为 150，则该水果年人均消费量为  $150 \times 100g = 15kg$ 。

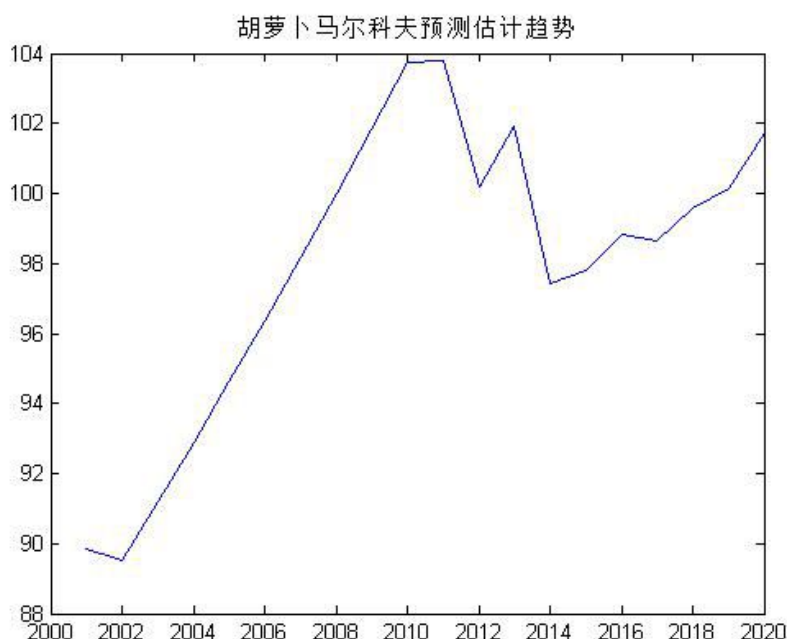


图 9 主要蔬菜中胡萝卜年人均消费量趋势

蔬菜的年人均消费量单位为 100g，若 2001 年消费量为 90，则该蔬菜年人均消费量为  $90 \times 100g = 9kg$ 。

消费量发展趋势：通过上图可知，通过马尔科夫链预测得出的水果或者蔬菜的消费量为与前述两种模型预测相差较大，主要是由于马尔科夫链状态转移仅仅只与前一年的状态决定，这就使得具有持续性影响力的国家政策以及其他因素无法由其体现，所以由马尔科夫链预测得到的趋势有一定的局限性。

#### 6.1.2.4 预测模型的选择

由三个模型预测方法及预测结果可知：灰色关联分析是按发展趋势做分析，因此对样本量的多少没有过多的要求，也不需要典型的分布规律，而且计算量比较小，其结果与定性分析结果会比较吻合，而线性回归并不具有此类优点。此外，马尔科夫链状态转移仅仅只与前一年的状态决定，这就使得具有持续性影响力的国家政策以及其他持续性因素在模型中无法体现。因此，我们在后续问题的求解中，使用灰色关联分析预测估计模型对所选水果和蔬菜消费量进行预测。

### 6.2 对问题二的求解

#### 6.2.1 对目前中国居民各种营养素的年摄入量水平合理性的评价

准则一：范围性。各种营养素的年人均摄入量要在营养素的参考年摄入量范围内。

准则二：全面性。要尽可能全面考虑不同年龄段及不同性别人群的营养成分摄入范围。

由于附件 4《中国居民膳食营养参考日摄入量》中，没有胡萝卜素两项，而

且查阅其他大量数据资料也没有发现较为权威可靠的数据，因此，我们在评价年摄入量水平时暂不考虑胡萝卜素两项。而很多国际相关组织都给出了膳食纤维日摄入量，其中美国防癌协会推荐标准：每人每天 30~40 克；欧洲共同体食品科学委员会推荐标准：每人每天 30 克；世界粮农组织建议正常人群摄入量：每人 27 克/日；而中国营养学会提出中国居民摄入的食物纤维量及范围：低能量饮食 1800kcal 为 25g/天，中等能量饮食 2400kcal 为 30g/天，高能量饮食 2800 kcal 为 35g/天。

下面分别废除 2001 年-2010 年维生素、矿物质、膳食纤维的实际日摄入量，通过评价日摄入量水平即可获得年摄入量水平（日摄入量×365天=年摄入量），

由于附件中没有给出营养摄入的评价标准，为了全面的分析中国居民营养的年摄入水平是否合理，本文基于《中国居民膳食营养参考日摄入量》，参考 NRV（营养素参考日摄入量），定义如下评价规则，具有一定的参考价值。

规则一：×××代表远远低于参考日摄入量的最小值（即最小值的 50%以上），属于严重缺乏。

规则二：××代表处于参考日摄入量最小值的 50%-80%，属于缺乏。

规则三：×代表摄入营养占参考日摄入量最小值的 80%-100%，属于略微缺乏。

规则四：√代表摄入营养在参考日摄入量范围内，属于正常。

规则五：○代表占参考日摄入量最大值的 100%-150%，属于略微超标。

规则六：○○代表高于参考日摄入量最大值的 150%-200%，属于超标。

规则七：○○○代表远远大于参考日摄入量的最大值（即最大值的 200%以上），属于严重超标。

#### 6.2.1.1 对目前中国居民各种维生素的年摄入水平合理性的评价

##### （1）对各种维生素的日摄入量水平的宏观评价

表 12 2001 年-2010 年维生素的实际日摄入量

维 生 素	维生素 A	维生素 B1	维生素 B2	维生素 C	维生素 E	烟酸
年份	微克	微克	毫克	毫克	毫克	微克
2001 年	517.1836	0.256231	0.315802	156.6	393.4	3.772859
2002 年	520.0801	0.266811	0.324841	163.0	389.8	3.935696
2003 年	538.4013	0.271312	0.330519	166.4	398.4	3.994579
2004 年	559.2758	0.276525	0.337953	171.6	407.2	4.069345
2005 年	573.0269	0.28068	0.343118	176.6	416.1	4.133403
2006 年	595.0751	0.286446	0.350289	183.2	425.2	4.207704
2007 年	620.9623	0.292464	0.358052	187.0	434.5	4.286865
2008 年	646.491	0.298781	0.365541	194.3	444.1	4.36106
2009 年	668.8659	0.305183	0.373327	202.5	453.8	4.446607
2010 年	687.9855	0.310384	0.380098	208.1	463.8	4.521582

根据附件 4 的营养成分参考日摄入量，得出维生素的参考日摄入量范围

表 13 参考日摄入量范围表

矿物质	维生素 A	维生素 B1	维生素 B2	维生素 C	维生素 E	烟酸
	微克	微克	毫克	毫克	毫克	微克
参考日摄入量范围	400~800	0.2~1.5	0.5~1.5	40~130	3~14	2~14

得出中国居民营养年摄入水平评价表

表 14 中国居民维生素年摄入水平评价表

维 生 素 年 份	维生素 A	维生素 B1	维生素 B2	维生素 C	维生素 E	烟酸
2001 年	√	√	××	○	○○○	√
2002 年	√	√	××	○	○○○	√
2003 年	√	√	××	○	○○○	√
2004 年	√	√	××	○	○○○	√
2005 年	√	√	××	○	○○○	√
2006 年	√	√	××	○	○○○	√
2007 年	√	√	××	○	○○○	√
2008 年	√	√	××	○	○○○	√
2009 年	√	√	××	○○	○○○	√
2010 年	√	√	××	○○	○○○	√

由上表可知，(1) 在 2001 年-2010 年，中国居民维生素 A、维生素 B1、烟酸的日摄入量全部处于参考日摄入量范围内，属于正常。(2) 维生素 B2 处于参考日摄入量最小值的 50%-80%，属于缺乏。(3) 维生素 C 自 2001 年-2008 年占参考日摄入量最大值的 100%-150%，属于略微超标，自 2009 年-2010 年，○○代表高于参考日摄入量最大值的 150%-200%，属于超标。(4) 维生素 E 在 2001 年-2010 年远远大于参考日摄入量的最大值，属于严重超标。

(2) 对不同性别及不同年龄段的人群各种维生素的日摄入量水平的评价

由于不同性别以及不同年龄段的人群对各种营养成分的应摄入量不同，下面以维生素 A 为例，评价不同性别以及不同年龄段人群的年摄入量水平。

表 15 不同性别及不同年龄段对维生素 A 的参考日摄入量

类别 年龄/岁	维生素 A/ug	类别 年龄/岁	维生素 A/ug		类别 年龄/岁	维生素 A/ug	
婴儿	不分性别	少年	男	女	老年前期	男	女
初生-6 个月	400	13-	800	700	45-		
7-12 个月	400	16-	800	700	极轻劳动	800	700
儿童		成年	男	女	轻劳动	800	700
1-	500	18-			中劳动	800	700
2-		极轻劳动	800	700	重劳动	800	700
3-		轻劳动	800	700	老年	800	700
4-	600	中劳动	800	700	60-	800	700
5-		重劳动	800	700	极轻劳动	800	700
6-		极重劳动	800	700	轻劳动	800	700
7-	700	孕妇(4-6 个月)		800	中劳动	800	700
8-		孕妇(7-9 个月)		900	70-	800	700
9-		乳母		1200	极轻劳动	800	700
10-	700				轻劳动	800	700
11-					80-	800	700
12-							

从上表可得，(1) 婴儿和 1-3 岁的儿童对维生素 A 的日摄入量需求从 2001



年-2010 均能满足；(2) 4-6 岁的儿童对维生素 A 的日摄入量需求在 2006 年之后满足；(3) 其余年龄段的人群在 2001 年-2010 年对维生素 A 的日摄入量需求均不能得到满足。

#### 6.2.1.2 对目前中国居民各种矿物质的年摄入水平合理性的评价

##### (1) 对各种矿物质的日摄入量水平的宏观评价

表 16 2001 年-2010 年矿物质的实际人均日摄入量

矿物质 年份	钙 毫克	铁 毫克	磷 毫克	钾 毫克	钠 毫克	铜 毫克	镁 毫克	锌 毫克	硒 微克
2001 年	230.1939	3.71082734	180.5091	1067.29	242.147	0.4339	97.29651	1.64163	3.35903
2002 年	233.6816	3.83452221	187.2771	1117.43	245.098	0.454	100.6655	1.7105	3.46252
2003 年	237.0701	3.90179288	190.6358	1138.57	246.582	0.46562	102.6804	1.75856	3.55441
2004 年	240.7335	3.98349764	194.8836	1163	248.162	0.48158	105.0244	1.81622	3.67075
2005 年	243.6233	4.0546374	198.3714	1185.05	249.716	0.49189	107.0748	1.86843	3.73777
2006 年	247.5916	4.13638936	202.7504	1211.09	251.367	0.50685	109.6336	1.94164	3.84972
2007 年	252.0682	4.22250649	207.2322	1243.15	252.997	0.52334	112.5278	2.0093	3.96227
2008 年	256.3588	4.30476147	211.7089	1269.3	254.724	0.53887	115.0974	2.09537	4.07545
2009 年	260.7228	4.39621767	216.6698	1301.19	256.481	0.55949	118.1201	2.17164	4.19434
2010 年	264.4187	4.47877647	220.9287	1328.72	258.199	0.57777	120.6521	2.22322	4.29416

根据附件 4 的营养成分参考日摄入量，得出矿物质的参考日摄入量范围

表 17 参考日摄入量范围表

元素	钙 毫克	铁 毫克	磷 毫克	钾 毫克	钠 毫克	铜 毫克	镁 毫克	锌 毫克	硒 微克
参考日摄入量范围	300~1200	0.3~25	150~1000	500~2500	200~2200	0.4~2	300~400	1.5~21	15~65

表 18 中国居民矿物质年摄入水平评价表

元素 年份	钙	铁	磷	钾	钠	铜	镁	锌	硒
2001 年	××	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2002 年	××	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2003 年	××	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2004 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2005 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2006 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2007 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2008 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2009 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2010 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××

根据上述表可知：(1) 铁、磷、钾、钠、铜、锌在 2001 年-2010 年日摄入量全部处于参考日摄入量范围内，属于正常。(2) 镁、硒在 2001 年-2010 年日摄入量远远低于参考日摄入量的最小值，属于严重缺乏。(3) 钙在 2001-2003 年低于参考日摄入量最小值的 50%-80%，属于缺乏，在 2004-2010 年摄入营养占参考日摄入量最小值的 80%-100%，属于略微缺乏。

##### (2) 对不同性别及不同年龄段的人群各种维生素的日摄入量水平的评价

由于不同性别以及不同年龄段的人群对各种营养成分的应摄入量不同，下面以磷为例，评价不同性别以及不同年龄段人群的年摄入量水平。

表 19 不同性别及不同年龄段对磷的参考日摄入量

类别 年龄/岁	磷量/mg	类别 年龄/岁	磷量/mg
婴儿	不分性别	成年	不分性别
初生-6 个月	150	18-	700
7-12 个月	300	极轻劳动	
儿童		轻劳动	
1-	450	中劳动	
2-		重劳动	
3-		极重劳动	
4-	500	孕妇(4-6 个月)	
5-		孕妇(7-9 个月)	
6-		乳母	
7-	700	老年前期	
8-		45-	
9-		极轻劳动	
10-		轻劳动	
11-	1000	中劳动	
12-		重劳动	
少年		老年	
13-	1000	60-	
16-		极轻劳动	
		轻劳动	
		中劳动	
		70-	
		极轻劳动	
		轻劳动	
		80-	

从上表可得，（1）初生-6 个月的婴儿对磷的日摄入量需求从 2001 年-2010 均能满足；（2）其余年龄段的人群在 2001 年-2010 年对磷的日摄入量需求均不能得到满足。

6. 2. 1. 3 对目前中国居民膳食纤维的年摄入水平合理性的评价

表 20 2001 年-2010 年矿物质的实际人均日摄入量

年份	膳食纤维（克）	年份	膳食纤维（克）
2001 年	5. 215694	2006 年	6. 057594
2002 年	5. 37113	2007 年	6. 253629
2003 年	5. 527838	2008 年	6. 443948
2004 年	5. 73062	2009 年	6. 650443
2005 年	5. 867563	2010 年	6. 831097

表 21 膳食纤维的参考日摄入量

饮食能量	人均日摄入量
低能量饮食 1800kcal	25g
中等能量饮食 2400kcal	30g
高能量饮食 2800 kcal	35g

本文根据中国营养学会提出的人均日摄入量得到下表：

表 22 日摄入量水平评价表

年份	膳食纤维	年份	膳食纤维
2001 年	×××	2006 年	×××
2002 年	×××	2007 年	×××
2003 年	×××	2008 年	×××
2004 年	×××	2009 年	×××
2005 年	×××	2010 年	×××

由上表可得从 2001 年-2020 年中国居民对膳食纤维的实际摄入量远远小于日应摄入量，属于严重缺乏。

## 6.2.2 对 2020 年中国居民人体营养健康状况好坏的判断

### 6.2.2.1 对 2020 年中国居民各种维生素的年摄入水平变化趋势的分析

#### (1) 对各种维生素的日摄入量水平变化趋势的宏观分析

表 23 2011 年-2020 年维生素的预测日摄入量

维生素 年份	维生素 A 微克	维生素 B1 微克	维生素 B2 毫克	维生素 C 毫克	维生素 E 毫克	烟酸 微克
2011 年	721.6023	0.318836	0.390347	218.1	474.0	4.628263
2012 年	752.1853	0.326799	0.399977	228.1	484.4	4.730359
2013 年	785.0039	0.33536	0.410245	239.2	495.1	4.839311
2014 年	820.2532	0.344577	0.421207	251.6	506.0	4.955712
2015 年	858.1468	0.354508	0.43292	265.6	517.1	5.080218
2016 年	898.9186	0.365222	0.445452	281.3	528.5	5.213552
2017 年	942.8247	0.376791	0.458873	298.9	540.2	5.356509
2018 年	990.1461	0.389298	0.473262	318.7	552.2	5.509969
2019 年	1041.191	0.402832	0.488708	341.1	564.4	5.674903
2020 年	1096.296	0.417494	0.505304	366.3	576.9	5.852385

根据附件 4 的营养成分参考日摄入量，得出维生素的参考日摄入量范围，形成中国居民营养年摄入水平评价表

表 24 对 2011-2020 年中国居民维生素预测年摄入水平评价表

维生素 年份	维生素 A	维生素 B1	维生素 B2	维生素 C	维生素 E	烟酸
2011 年	√	√	×	○○	○○○	√

2012 年	√	√	×	○○	○○○	√
2013 年	√	√	×	○○	○○○	√
2014 年	○	√	×	○○	○○○	√
2015 年	○	√	×	○○	○○○	√
2016 年	○	√	×	○○○	○○○	√
2017 年	○	√	×	○○○	○○○	√
2018 年	○	√	×	○○○	○○○	√
2019 年	○	√	×	○○○	○○○	√
2020 年	○	√	√	○○○	○○○	√

由上表可知,根据前述中国居民喜食等不良习惯以及模型预测数据得出以下结论:(1)到2020年,维生素B2由之前的缺乏变为正常。(2)到2020年,维生素A、维生素C逐渐趋于略微超标或超标。(3)维生素B1和烟酸始终处于正常状态。(4)维生素E始终处于严重超标。

(2)对不同性别及不同年龄段的人群各种维生素的日摄入量水平变化趋势的分析

由于不同性别以及不同年龄段的人群对各种营养成分的应摄入量不同,下面以维生素A为例,评价不同性别以及不同年龄段人群在2020年预测摄入量水平。根据合理预测得出的预测数据可知,在2020年时,不同性别以及不同年龄段的人群维生素A预测摄入量处于略微超标、超标、严重超标三种状态。

#### 6.2.2.2 对2020年中国居民各种矿物质的年摄入水平变化趋势的分析

(1)对各种矿物质的日摄入量水平变化趋势的宏观分析

表 25 2011 年-2020 年矿物质的预测日摄入量

矿物质 年份	钙	铁	磷	钾	钠	铜	镁	锌	硒
	毫克	毫克	毫克	毫克	毫克	毫克	毫克	毫克	微克
2011 年	270.1185	4.5906304	227.0439	1366.68	260.122	0.59956	124.2927	2.34049	4.44984
2012 年	275.5029	4.69821404	232.937	1403.93	262.047	0.62316	127.8278	2.44449	4.5954
2013 年	281.2522	4.81212688	239.2335	1443.72	264.036	0.64894	131.6083	2.55828	4.75084
2014 年	287.3994	4.9328905	245.9703	1486.26	266.094	0.67717	135.656	2.68294	4.91701
2015 年	293.9804	5.06107831	253.1886	1531.8	268.226	0.70816	139.9952	2.81966	5.09482
2016 年	301.0354	5.19732148	260.9339	1580.59	270.436	0.74228	144.6528	2.96976	5.28527
2017 年	308.6083	5.34231546	269.2567	1632.92	272.731	0.77992	149.6582	3.13474	5.48947
2018 年	316.7478	5.49682744	278.2133	1689.11	275.118	0.82156	155.0441	3.31627	5.70864
2019 年	325.5078	5.66170467	287.8664	1749.51	277.603	0.86775	160.8468	3.5162	5.94411
2020 年	334.9482	5.83788387	298.2858	1814.5	280.195	0.9191	167.1062	3.73661	6.19737

根据附件4的营养成分参考日摄入量,得出矿物质的参考日摄入量范围,形成中国居民营养年摄入水平评价表。

表 26 对 2011-2020 年中国居民矿物质预测年摄入水平评价表

矿物质 年份	钙	铁	磷	钾	钠	铜	镁	锌	硒
2011 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2012 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2013 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××

2014 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2015 年	×	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2016 年	√	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2017 年	√	√	√	√	√	√	×××	√	×××
2018 年	√	√	√	√	√	√	××	√	×××
2019 年	√	√	√	√	√	√	××	√	×××
2020 年	√	√	√	√	√	√	××	√	×××

(2) 对不同性别及不同年龄段的人群各种矿物质的日摄入量水平变化趋势的分析

由于不同性别以及不同年龄段的人群对各种营养成分的应摄入量不同,下面以磷为例,评价不同性别以及不同年龄段人群在 2020 年预测摄入量水平。

根据合理预测得出的预测数据可知,在 2020 年时,不同性别以及不同年龄段的人群磷预测摄入量处于严重缺乏、缺乏、略微缺乏、正常、略微超标状态。

#### 6.2.2.3 对 2020 年中国居民膳食纤维的年摄入水平变化趋势的分析

表 27 2011 年-2020 年膳食纤维的预测人均日摄入量

年份	膳食纤维(克)	年份	膳食纤维(克)
2011 年	7.105003	2016 年	8.582395
2012 年	7.361427	2017 年	8.945808
2013 年	7.635696	2018 年	9.336975
2014 年	7.929404	2019 年	9.758585
2015 年	8.244318	2020 年	10.21364

表 28 膳食纤维年摄入水平评价表

年份	膳食纤维	年份	膳食纤维
2011 年	×××	2016 年	×××
2012 年	×××	2017 年	×××
2013 年	×××	2018 年	×××
2014 年	×××	2019 年	×××
2015 年	×××	2020 年	×××

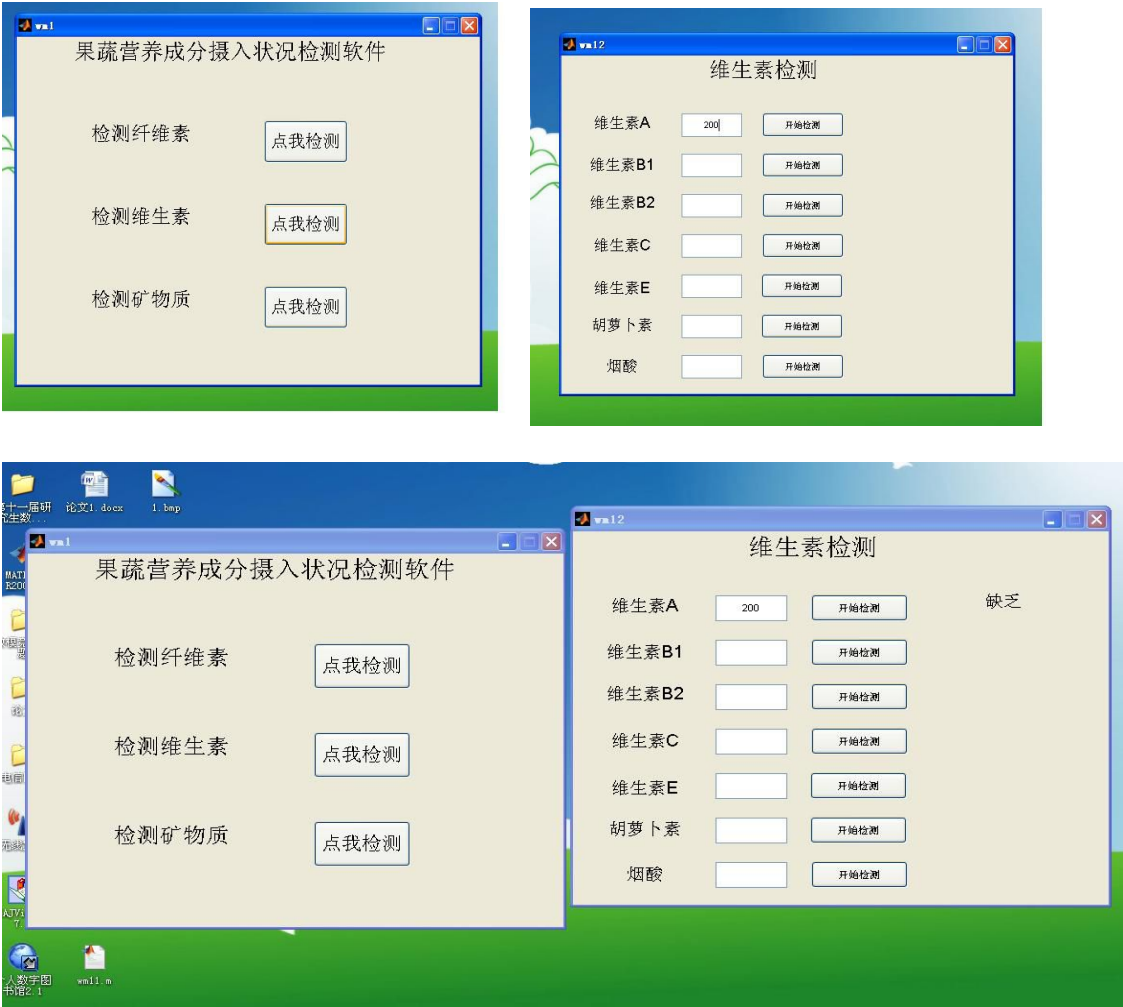
由上表可得,虽然膳食纤维的日摄入量有所增加,但距离中国营养学会建议的日应摄入量还有很大差距,仍然处于严重缺乏状态。

#### 6.2.3 小结

通过对目前我国居民矿物质、维生素、膳食纤维等营养的年摄入水平进行分析,得知:(1)在维生素中,我国居民的维生素 A、维生素 B1、烟酸的年摄入水平合理,维生素 B2、维生素 C、维生素 E 摄入不合理,其中,维生素 B2 属于缺乏,维生素 C 略微超标,维生素 E 处于严重超标;(2)在矿物质中,铁、磷、钾、钠、锌的年摄入水平合理,钙摄入水平由缺乏趋于略微缺乏,镁、硒处于严重缺乏状态,摄入水平不合理。(3)膳食纤维年摄入水平不合理,处于严重缺乏状况。

通过模型仿真预测得出 2011-2020 年我国居民矿物质、维生素、膳食纤维的年摄入量,得知:(1)在维生素中,我国居民的维生素 B1、烟酸的年摄入水平合理,维生素 B2 由略微缺乏转入正常,维生素 A 由正常转为略微超标,维生素

C 由超标转为严重超标，维生素 E 仍然处于严重超标；（2）在矿物质中，铁、磷、钾、钠、铜、锌年摄入水平合理，钙由略微缺乏转为正常，镁由严重缺乏转为缺乏，硒仍然还是处于严重缺乏。从分析中可以看出，由于中国居民营养健康意识的增强，至 2020 年中国居民的人体营养健康状况趋于好转。此外，使用 MATLAB 制作了果蔬营养成分摄入状况检测软件，页面友好，将研究成果充分转化为可供平常人查询营养状况的平台，见图 10。



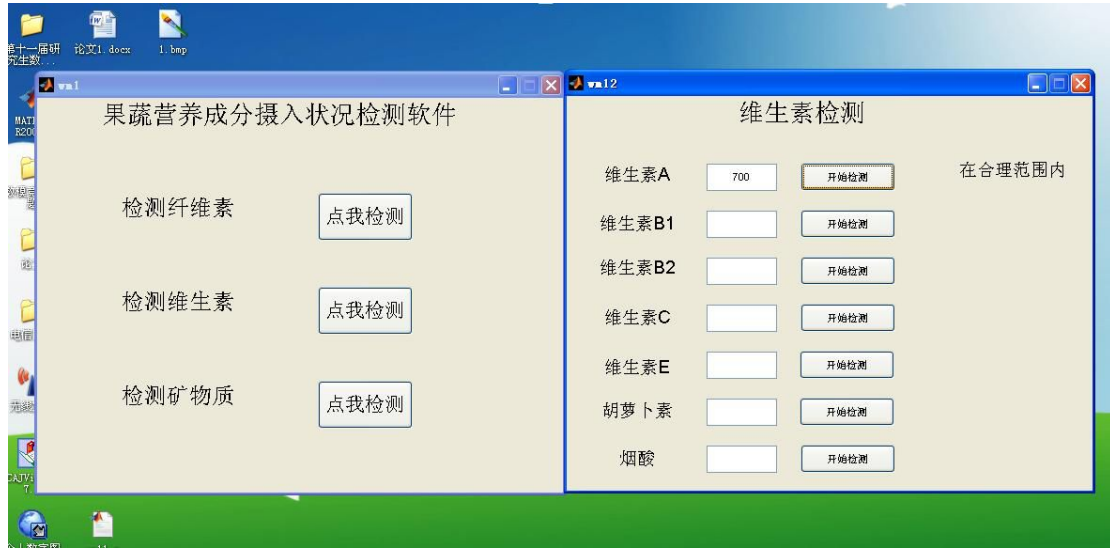


图 10 检测软件说明图

### 6.3 对问题三的求解

#### 6.3.1 消费产品选择模型的建立

准则一：营养互替性。所选的水果、蔬菜的所含营养素种类相近，含量可以不同，各种果蔬之间的营养成分可以在一定程度上相互替代、相互补充。

准则二：营养必需性。所选取的水果、蔬菜在营养素成分的种类、含量的总量上要满足营养素日摄入量。

准则三：成本最低性。所选取的水果、蔬菜购买成本尽可能低。

$$\min z = c_1 y_1 + c_2 y_2 + \cdots + c_m y_m + c_{m+1} y_{m+1} + \cdots + c_n y_n \quad (3.1)$$

$$s.t. \begin{cases} B_{1-} \leq a_{11} y_1 + a_{12} y_2 \cdots + a_{1m} y_m + a_{1m+1} y_{m+1} \cdots + a_{1n} y_n \leq B_{1+} \\ B_{2-} \leq a_{21} y_1 + a_{22} y_2 \cdots + a_{2m} y_m + a_{2m+1} y_{m+1} \cdots + a_{2n} y_n \leq B_{2+} \\ \vdots \\ B_{k-} \leq a_{k1} y_1 + a_{k2} y_2 \cdots + a_{km} y_m + a_{km+1} y_{m+1} \cdots + a_{kn} y_n \leq B_{k+} \\ y_j \geq 0 (j = 1, \cdots, n) \end{cases} \quad (3.2)$$

其中  $y_1, y_2, \cdots, y_m$  分别为所选  $m$  种水果的人均年消费量， $y_{m+1}, y_{m+2}, \cdots, y_n$  分别为所选  $n-m$  种蔬菜的人均年消费量。 $B_i (i=1, 2, \cdots, k)$  分别为各种营养素的人均年应摄入量， $B_{i+}$  为第  $i$  种营养素的人均年应摄入量上限， $B_{i-}$  为第  $i$  种营养素的人均年应摄入量下限。 $a_{ij}$  为  $y_j$  所对应的水果（或蔬菜）所含的第  $i$  种营养素含量。

$c_j(j=1,2\cdots n)$  为  $y_j$  所对应的水果（或蔬菜）的价格系数。

这里  $m=12$  ,  $n=21$  。  $y_1、y_2\cdots y_{12}$  所对应的水果分别是苹果、梨、桃子、葡萄、香蕉、橘子、柿子、大枣、荔枝、龙眼、猕猴桃、菠萝，  $y_{13}、y_{14}\cdots y_{21}$  所对应的蔬菜分别是胡萝卜、萝卜、大白菜、菠菜、芹菜、西红柿、茄子、黄瓜。

$k=16$  ,  $B_i(i=1,2\cdots k)$  对应的营养物质分别是膳食纤维、维生素 A、维生素 B1、维生素 B2、维生素 C、维生素 E、烟酸、钙、铁、磷、钾、钠、铜、镁、锌、硒。

令  $B_{i-}$ 、 $B_{i+}$  分别为问题二解决中各营养素的人均日应摄入量上下限乘以 365。

运用问题一的求解中的单纯形法解题步骤，可以使用 MATLAB 程序对消费产品选择模型进行求解。

6.3.2 同一季节不同地域的果蔬消费产品选择

以 2010 年数据为参考，2010 年各种果蔬的人均年消费量（单位：100g），如下表所示。

表 29 果蔬人均年消费量（单位：100g）

水果	消费量	蔬菜	消费量
苹果	235.8347	胡萝卜	103.7242
梨	97.20138	萝卜	272.9525
桃子	67.49911	大白菜	542.0258
葡萄	39.88501	菠菜	88.07108
香蕉	45.10588	芹菜	123.9894
橘子	160.2167	西红柿	237.1416
柿子	18.06223	茄子	164.8181
大枣	30.40021	黄瓜	310.7116
荔枝	9.601378	土豆	338.7822
龙眼	6.961743		
猕猴桃	5.804561		
菠萝	7.243765		

为方便分析，本文把人均年消费量转换为人均日消费量，可得各种果蔬的人均日消费量（单位：100g）。

表 30 果蔬人均日消费量（单位：100g）

水果	消费量	蔬菜	消费量
苹果	0.646122	胡萝卜	0.284176
梨	0.266305	萝卜	0.747815
桃子	0.184929	大白菜	1.485002
葡萄	0.109274	菠菜	0.241291
香蕉	0.123578	芹菜	0.339697
橘子	0.43895	西红柿	0.649703



柿子	0.049486	茄子	0.451556
大枣	0.083288	黄瓜	0.851265
荔枝	0.026305	土豆	0.92817
龙眼	0.019073		
猕猴桃	0.015903		
菠萝	0.019846		

根据全国农产品商务信息公告服务平台数据统计处理后,得到2010年北京、广东两地四个季节各种果蔬价格一览表如下:

表 31 2010 年北京、广东两地四个季节各种果蔬价格一览表 (单位: 元/kg)

		北京				广东			
		春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
水 果	苹果	6.61	5.01	5.55	5.82	3.84	3.85	3.92	3.63
	梨	1.02	1.18	1.52	1.99	2.38	1.97	2.13	2.43
	桃子	5.15	4.12	3.8	3.95	4.52	3.58	4.22	6.01
	葡萄	10.35	7.82	7.25	15.2	10.45	11.52	8.43	9.05
	香蕉	4.43	4.81	4.1	4.24	3.89	4.02	5.08	4.27
	橘子	2.75	3.25	3.14	3.01	3.51	2.79	3.04	3.41
	柿子	2.31	2.05	1.91	1.98	1.86	2.15	2.06	1.79
	大枣	17.51	16.43	18.34	17.2	18.5	19.36	17.22	17.93
	荔枝	53.2	11.27	20.21	35.26	10.35	5.26	7.58	12.02
	龙眼	14.01	13.21	15.07	13.54	18.33	9.62	15.61	13.54
	猕猴桃	16.64	23.07	13.41	22.16	18.52	40.82	28.52	22.43
	菠萝	4.41	4.02	5.67	4.38	3.21	2.94	3.16	3.05
蔬 菜	胡萝卜	0.7	1.61	0.89	0.77	0.97	1.35	1.64	1.02
	萝卜	1.73	1.26	1.54	0.72	2.6	2.01	1.79	1.38
	大白菜	1.03	0.65	2.18	0.94	2.01	1.39	2.49	2.13
	菠菜	0.81	3.94	2.54	1.39	6.32	5.06	7.19	4.25
	芹菜	0.95	2.03	1.14	2.16	4.92	6.17	4.71	5.22
	西红柿	4.06	2.11	1.56	1.02	3.59	6.49	5.42	5.88
	茄子	0.91	1.25	2.32	5.36	6.38	5.41	7.78	2.8
	黄瓜	1.84	4.73	3.86	3.01	3.76	6.03	5.01	1.92
	土豆	1.45	2.98	2.23	1.98	1.85	2.03	3.96	3.16

结合问题二结论可得出不同季节北京、广东两地居民对果蔬的日人均总消费额,即为下表。

表 32 2010 年不同季节北京、广东两地居民对果蔬的日人均消费额 (单位: 元)

		北京				广东			
		春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
水 果	苹果	0.427085	0.323706	0.3586	0.376	0.2481	0.2488	0.2533	0.2345
	梨	0.027164	0.031425	0.0405	0.053	0.0634	0.0525	0.0567	0.0647
	桃子	0.095239	0.076191	0.0703	0.073	0.0836	0.0662	0.078	0.1111
	葡萄	0.113094	0.085449	0.0792	0.1661	0.1142	0.1259	0.0921	0.0989
	香蕉	0.054746	0.059442	0.0507	0.0524	0.0481	0.0497	0.0628	0.0528
	橘子	0.120711	0.142659	0.1378	0.1321	0.1541	0.1225	0.1334	0.1497

	柿子	0.011432	0.010145	0.0095	0.0098	0.0092	0.0106	0.0102	0.0089
	大枣	0.145841	0.136845	0.1528	0.1433	0.1541	0.1612	0.1434	0.1493
	荔枝	0.139969	0.029651	0.0532	0.0928	0.0272	0.0138	0.0199	0.0316
	龙眼	0.026717	0.025191	0.0287	0.0258	0.035	0.0183	0.0298	0.0258
	猕猴桃	0.026458	0.036681	0.0213	0.0352	0.0294	0.0649	0.0453	0.0357
	菠萝	0.008754	0.00798	0.0113	0.0087	0.0064	0.0058	0.0063	0.0061
蔬  菜	胡萝卜	0.019893	0.045753	0.0253	0.0219	0.0276	0.0384	0.0466	0.029
	萝卜	0.129373	0.094225	0.1152	0.0538	0.1944	0.1503	0.1339	0.1032
	大白菜	0.152955	0.096525	0.3237	0.1396	0.2985	0.2064	0.3698	0.3163
	菠菜	0.019544	0.095068	0.0613	0.0335	0.1525	0.1221	0.1735	0.1025
	芹菜	0.032272	0.068959	0.0387	0.0734	0.1671	0.2096	0.16	0.1773
	西红柿	0.263778	0.137087	0.1014	0.0663	0.2332	0.4217	0.3521	0.382
	茄子	0.041092	0.056445	0.1048	0.242	0.2881	0.2443	0.3513	0.1264
	黄瓜	0.156634	0.402651	0.3286	0.2562	0.3201	0.5133	0.4265	0.1634
	土豆	0.134585	0.276595	0.207	0.1838	0.1717	0.1884	0.3676	0.2933
日人均消费额		2.147335	2.238674	2.3199	2.2387	2.826	3.0347	3.3125	2.6625

从前面价格表中可以看出，同一季节中荔枝、猕猴桃等水果和菠菜、芹菜等蔬菜的价格受地域影响较大。

表 33 同一季节下北京、广州两地差异较大的果蔬（单位：元）

	春		夏		秋		冬	
	北京	广东	北京	广东	北京	广东	北京	广东
荔枝	53.2	10.35	11.27	5.26	20.21	7.58	35.26	12.02
猕猴桃	16.64	18.52	23.07	40.82	13.41	28.52	22.16	22.43
菠菜	0.95	6.32	2.03	5.06	1.14	7.19	2.16	4.25
芹菜	0.81	4.92	3.94	6.17	2.54	4.71	1.39	5.22

以春季为例，北京的荔枝价格是广州的近 5 倍，而广州的芹菜价格也是北京的近 5 倍。

又从主要水果的营养成分表可以看出，荔枝与大枣在本文所研究的 17 种营养素中，营养成分含量极为相近，而北京春季大枣的价格是荔枝的近三倍。芹菜和胡萝卜的在本文所研究的 17 种营养素中，营养成分含量比较相近，但维生素 A 含量远高于芹菜，磷、锌含量是芹菜的一半，维生素 E 含量小于芹菜。根据问题二的结论可得，中国居民维生素 E 的摄入量严重超标，磷、锌的摄入量处于参考范围。因此，利用胡萝卜替换芹菜是可行的。得到替换后的果蔬日消费量、日摄入量、日消费额。

表 34 替换后的果蔬日消费量（100g）

水果	消费量	蔬菜	消费量
苹果	0.64612	胡萝卜	0.62388
梨	0.26631	萝卜	0.74782
桃子	0.18493	大白菜	1.485
葡萄	0.10927	菠菜	0.24129
香蕉	0.12358	西红柿	0.6497
橘子	0.43895	茄子	0.45156
柿子	0.04949	黄瓜	0.85127

大枣	0.1096	土豆	0.92817
龙眼	0.01907		
猕猴桃	0.0159		
菠萝	0.01985		

表 35 替换前后日摄入量对照

营养素	替换前	替换后
膳食纤维	6.831097	6.7659
维生素 A	687.9855	918.3047
维生素 B1	0.310384	0.3218
维生素 B2	0.380098	0.3629
维生素 C	208.0969	215.3025
维生素 E	463.7504	463.1426
胡萝卜素	3031.397	4413.989
烟酸	4.521582	4.593741
钙	264.4187	259.2472
铁	4.478776	4.551995
磷	220.9287	213.5636
钾	1328.723	1339.221
钠	258.1992	257.5239
铜	0.577767	0.571736
镁	120.6521	122.3534
锌	2.223217	2.188504
硒	4.294159	4.361484

表 36 替换前后日人均消费额对照

水果 \ 城市	北京		广州	
	替换前	替换后	替换前	替换后
苹果	0.427085	0.427085	0.2481	0.24811
梨	0.027164	0.027164	0.0634	0.063382
桃子	0.095239	0.095239	0.0836	0.083588
葡萄	0.113094	0.113094	0.1142	0.114187
香蕉	0.054746	0.054746	0.0481	0.048073
橘子	0.120711	0.120711	0.1541	0.154071
柿子	0.011432	0.011432	0.0092	0.009205
大枣	0.145841	0.19191	0.1541	0.20276
荔枝	0.139969	0	0.0272	0
龙眼	0.026717	0.026717	0.035	0.034955
猕猴桃	0.026458	0.026458	0.0294	0.029447
菠萝	0.008754	0.008754	0.0064	0.006372
胡萝卜	0.019893	0.043672	0.0276	0.060516
萝卜	0.129373	0.129373	0.1944	0.194433
大白菜	0.152955	0.152955	0.2985	0.298485
菠菜	0.019544	0.019544	0.1525	0.152495

芹菜	0.032272	0	0.1671	0
西红柿	0.263778	0.263778	0.2332	0.233242
茄子	0.041092	0.041092	0.2881	0.288095
黄瓜	0.156634	0.156634	0.3201	0.320078
土豆	0.134585	0.134585	0.1717	0.171711
日人均消费额	2.147335	2.044942	2.826	2.713207

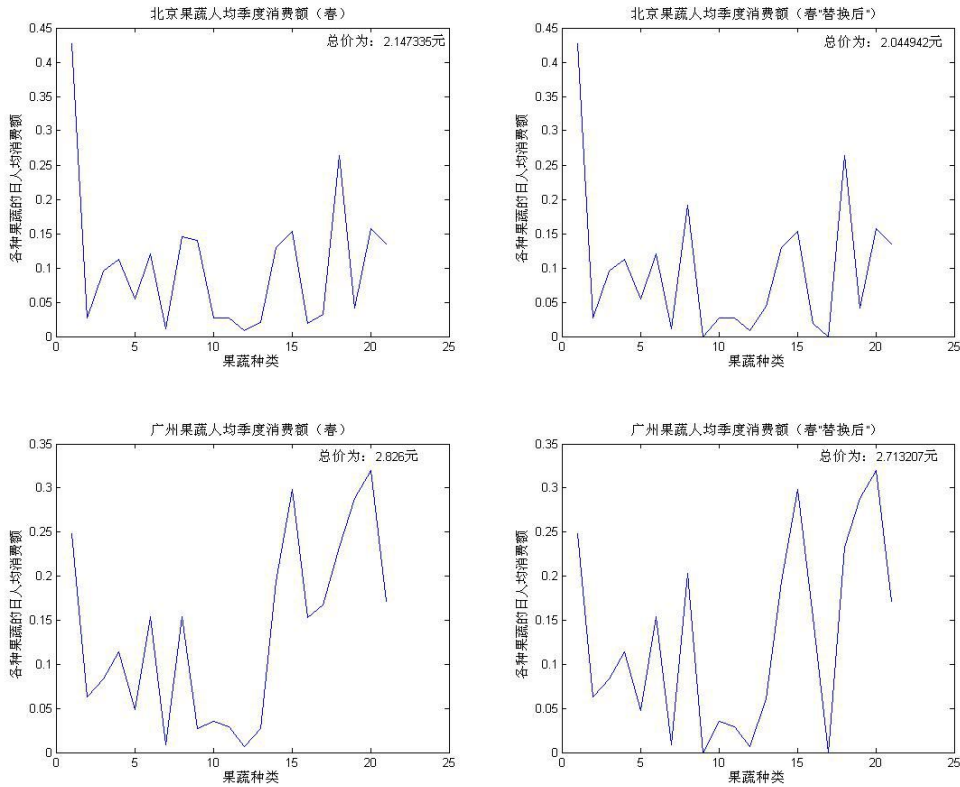


图 11 不同城市 同一季节替换前后

从上述替换前后日摄入量 and 日人均消费额表、图中可以看出（由符号系统的建立可知上上述图中，横坐标 1-21 代表了水果和蔬菜的品种），把荔枝、芹菜分别替换为大枣、胡萝卜后，居民营养素日摄入量变化不大，而日人均消费额下降，说明本文的替换是合理的。

同理，夏、秋、冬三个季节也采用上述方法进行替换。

### 6.3.3 同一地域不同季节的果蔬消费产品选择

以 2010 年北京的数据为参考，不同季节北京果蔬的价格表如下：

表 37 不同季节北京果蔬价格

季节 水果	春	夏	秋	冬	季节 水果	春	夏	秋	冬
苹果	6.61	5.01	5.55	5.82	胡萝卜	0.7	1.61	0.89	0.77
梨	1.02	1.18	1.52	1.99	萝卜	1.73	1.26	1.54	0.72
桃子	5.15	4.12	3.8	3.95	大白菜	1.03	0.65	2.18	0.94
葡萄	10.35	7.82	7.25	15.2	菠菜	0.81	3.94	2.54	1.39

香蕉	4.43	4.81	4.1	4.24	芹菜	0.95	2.03	1.14	2.16
橘子	2.75	3.25	3.14	3.01	西红柿	4.06	2.11	1.56	1.02
柿子	2.31	2.05	1.91	1.98	茄子	0.91	1.25	2.32	5.36
大枣	17.51	16.43	18.34	17.2	黄瓜	1.84	4.73	3.86	3.01
荔枝	53.2	11.27	20.21	35.26	土豆	1.45	2.98	2.23	1.98
龙眼	14.01	13.21	15.07	13.54					
猕猴桃	16.64	23.07	13.41	22.16					
菠萝	4.41	4.02	5.67	4.38					

(1) 春季替换荔枝为大枣

从不同季节北京果蔬的价格表中可以看出，春季的荔枝与其他季节相比价格较高，需要将它替换。在对数据进行分析后，发现可以将春季的荔枝替换为大枣。

表 38 替换后的果蔬日消费量（100g）

水果	消费量	蔬菜	消费量
苹果	0.646122	胡萝卜	0.284176
梨	0.266305	萝卜	0.747815
桃子	0.184929	大白菜	1.485002
葡萄	0.109274	菠菜	0.241291
香蕉	0.123578	芹菜	0.339697
橘子	0.43895	西红柿	0.649703
柿子	0.049486	茄子	0.451556
大枣	0.1096	黄瓜	0.851265
龙眼	0.019073	土豆	0.92817
猕猴桃	0.015903		
菠萝	0.019846		

表 39 替换前后日摄入量对照

营养素	替换前	替换后
膳食纤维	6.831097	6.8679364
维生素 A	687.9855	687.98566
维生素 B1	0.310384	0.31143691
维生素 B2	0.380098	0.37983511
维生素 C	208.0969	214.964556
维生素 E	463.7504	463.7499457
胡萝卜素	3031.397	3031.39787
烟酸	4.521582	4.52579567
钙	264.4187	264.681867
铁	4.478776	4.4840426
磷	220.9287	221.376223
钾	1328.723	1326.988042
钠	258.1992	258.3386374
铜	0.577767	0.57513735
镁	120.6521	120.994284
锌	2.223217	2.26663273
硒	4.294159	4.31731321

表 40 替换前后日人均消费额对照

水果	替换前	替换后
苹果	0.427085	0.427087
梨	0.027164	0.027163
桃子	0.095239	0.095238
葡萄	0.113094	0.113099
香蕉	0.054746	0.054745
橘子	0.120711	0.120711
柿子	0.011432	0.011431
大枣	0.145841	0.19191
荔枝	0.139969	0
龙眼	0.026717	0.026721
猕猴桃	0.026458	0.026463
菠萝	0.008754	0.008752
胡萝卜	0.019893	0.019892
萝卜	0.129373	0.129372
大白菜	0.152955	0.152955
菠菜	0.019544	0.019545
芹菜	0.032272	0.032271
西红柿	0.263778	0.263779
茄子	0.041092	0.041092
黄瓜	0.156634	0.156633
土豆	0.134585	0.134585
日人均消费额	2.147335	2.053444

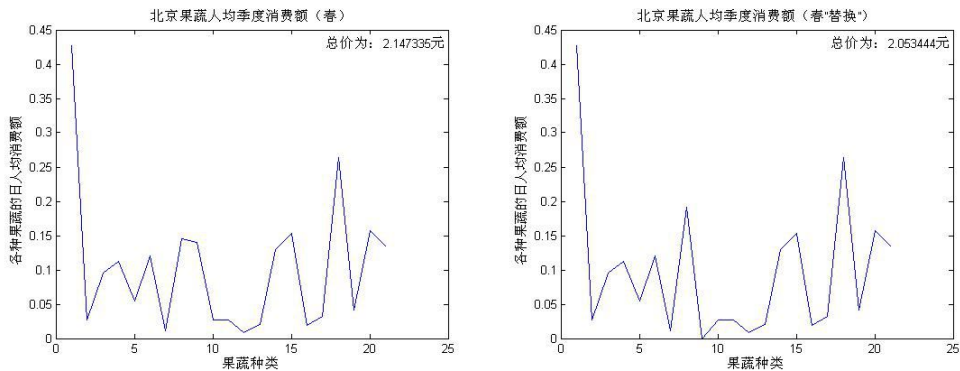


图 12 春季替换前后人均消费额比较

对图、表的分析可知，春季时把荔枝替换为大枣，对营养素的摄入影响较小，日人均消费额显著下降，说明替换合理。

(2) 夏季替换猕猴桃为橘子

通过对数据分析，可以发现橘子与猕猴桃的营养素含量相差最小，把猕猴桃替换成橘子，对营养素的摄入影响较小。

表 41 橘子、猕猴桃营养成分含量比较

营养素	膳食纤维	维生素 A	维生素 B1	维生素 B2	维生素 C	维生素 E	烟酸
-----	------	-------	--------	--------	-------	-------	----

水果								
橘子	0.5	277	0.05	0.04	33	0.45	0.2	
猕猴桃	2.6	66	0.01	0.02	652	1.3	0.29	
食物名称	钙	铁	磷	钾	钠	铜	锌	硒
橘子	35	0.2	18	177	1.3	0.07	1	0.45
猕猴桃	32	0.3	42	144	3.3	1.87	0.57	0.28

替换后的果蔬日消费量、营养素日摄入量和居民的日人均消费额如下。

表 42 替换后的果蔬日消费量（100g）

水果	消费量	蔬菜	消费量
苹果	0.64612	胡萝卜	0.28418
梨	0.26631	萝卜	0.74782
桃子	0.18493	大白菜	1.485
葡萄	0.10927	菠菜	0.24129
香蕉	0.12358	芹菜	0.3397
橘子	0.45485	西红柿	0.6497
柿子	0.04949	茄子	0.45156
大枣	0.08329	黄瓜	0.85127
荔枝	0.02631	土豆	0.92817
龙眼	0.01907		
菠萝	0.01985		

表 43 替换前后日摄入量对照

营养素	替换前	替换后
膳食纤维	6.831097	6.797734
维生素 A	687.9855	691.34271
维生素 B1	0.310384	0.3110211
维生素 B2	0.380098	0.3804166
维生素 C	208.0969	198.25374
维生素 E	463.7504	463.7405
胡萝卜素	3031.397	3030.8797
烟酸	4.521582	4.5201604
钙	264.4187	264.46702
铁	4.478776	4.477203
磷	220.9287	220.54787
钾	1328.723	1329.2526
钠	258.1992	258.16796
铜	0.577767	0.5491441
镁	120.6521	120.7162
锌	2.223217	2.2300602
硒	4.294159	4.2968735

表 44 替换后日人均消费额

水果	替换前	替换后
苹果	0.323706	0.323706
梨	0.031425	0.031425

桃子	0.076191	0.076191
葡萄	0.085449	0.085449
香蕉	0.059442	0.059442
橘子	0.142659	0.147826
柿子	0.010145	0.010145
大枣	0.136845	0.136845
荔枝	0.029651	0.029651
龙眼	0.025191	0.025191
猕猴桃	0.036681	0
菠萝	0.00798	0.00798
胡萝卜	0.045753	0.045753
萝卜	0.094225	0.094225
大白菜	0.096525	0.096525
菠菜	0.095068	0.095068
芹菜	0.068959	0.068959
西红柿	0.137087	0.137087
茄子	0.056445	0.056445
黄瓜	0.402651	0.402651
土豆	0.276595	0.276595
日人均消费额	2.238674	2.20716

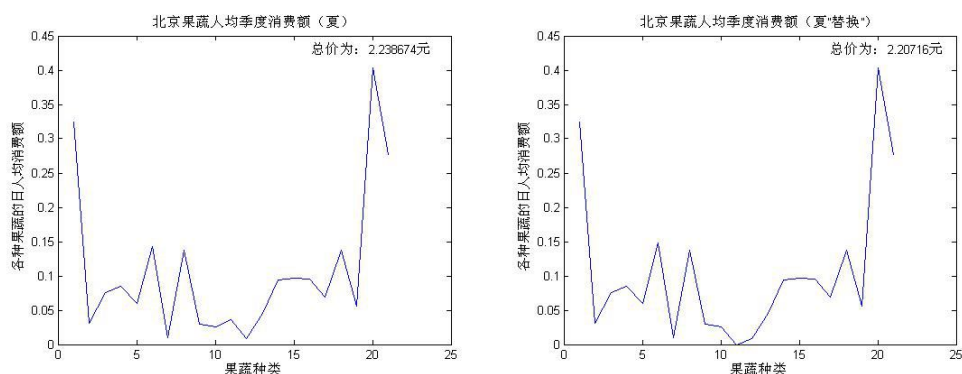


图 13 夏季替换前后人均消费额比较

对图表的分析可知,夏季时把猕猴桃替换为橘子,对营养素的摄入影响较小,日人均消费额显著下降,说明替换合理。

### (3) 秋季价格比较合理不用替换

从不同季节北京、广东两地的果蔬价格表中可以看出,秋季果蔬的价格较其他季节比较合理,能够被居民所接受,因此,本文不展开对秋季果蔬的替换

### (4) 冬季把荔枝、猕猴桃替换为大枣、橘子

从不同季节北京果蔬的价格表中可以看出,冬季的荔枝、猕猴桃相对价格较高,可以将它们替换。在对数据进行分析后,发现可以将冬季的荔枝、猕猴桃分别替换为大枣、橘子。

表 45 替换后的果蔬日消费量 (100g)



水果	消费量	蔬菜	消费量
苹果	0.646122	胡萝卜	0.284176
梨	0.266305	萝卜	0.747815
桃子	0.184929	大白菜	1.485002
葡萄	0.109274	菠菜	0.241291
香蕉	0.123578	芹菜	0.339697
橘子	0.45485	西红柿	0.649703
柿子	0.049486	茄子	0.451556
大枣	0.109593	黄瓜	0.851265
龙眼	0.019073	土豆	0.92817
菠萝	0.019846		

表 46 替换前后日摄入量对照

营养素	替换前	替换后
膳食纤维	6.831097	6.8345253
维生素 A	687.9855	691.340348
维生素 B1	0.310384	0.31207246
维生素 B2	0.380098	0.3801527
维生素 C	208.0969	205.118421
维生素 E	463.7504	463.7364261
胡萝卜素	3031.397	3030.867659
烟酸	4.521582	4.52435778
钙	264.4187	264.729359
铁	4.478776	4.4824468
磷	220.9287	220.99414
钾	1328.723	1327.511421
钠	258.1992	258.3067785
铜	0.577767	0.54651132
镁	120.6521	121.057673
锌	2.223217	2.27345528
硒	4.294159	4.32000823

表 47 替换前后日人均消费额对照

水果	替换前	替换后
苹果	0.376	0.376043
梨	0.053	0.052995
桃子	0.073	0.073047
葡萄	0.1661	0.166096
香蕉	0.0524	0.052397
橘子	0.1321	0.13691
柿子	0.0098	0.009798
大枣	0.1433	0.1885
荔枝	0.0928	0
龙眼	0.0258	0.025825
猕猴桃	0.0352	0

菠萝	0.0087	0.008693
胡萝卜	0.0219	0.021882
萝卜	0.0538	0.053843
大白菜	0.1396	0.13959
菠菜	0.0335	0.033539
芹菜	0.0734	0.073375
西红柿	0.0663	0.06627
茄子	0.242	0.242034
黄瓜	0.2562	0.256231
土豆	0.1838	0.183778
日人均消费额	2.2387	2.160844

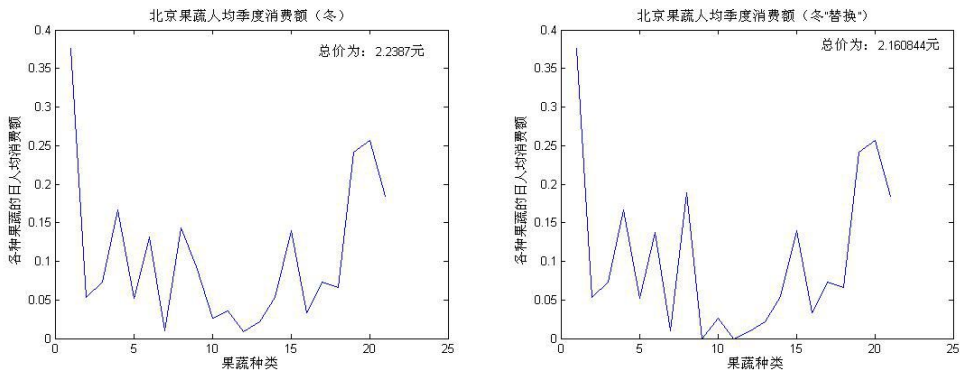


图 14 冬季替换前后人均消费额比较

对图表的分析可知，冬季时把荔枝、猕猴桃替换为大枣、橘子，对营养素的摄入影响较小，日人均消费额显著下降，说明替换合理。

6.3.4 不同年份果蔬消费产品的分析

表 48 菠菜 2006 年到 2010 年价格变化

2006 年			2007 年			2008 年		
最低价	最高价	中间价	最低价	最高价	中间价	最低价	最高价	中间价
1.98	2.74	2.58	1.91	2.93	2.42	1.45	6.01	3.73
2009 年			2010 年					
最低价	最高价	中间价	最低价	最高价	中间价			
2.99	7.24	5.115	4.25	7.19	5.72			

由上表可知，不同年份同一种果蔬在一般情况下在同一季节，同一地域一般价格变化不大，但也有个别种类的果蔬比如菠菜，此时可以使用含量类似的果蔬进行代替。对问题三的解答可知，鉴于每种蔬菜、水果所含的营养成分含量不尽相同，价格存在差异，通过不同区域、不同季节的定性分析，可知各地居民以较低的购买成本满足自身的营养需要。

## 6.4 对问题四的求解

### 6.4.1 果蔬生产规模战略调整模型的建立

准则一：营养均衡性。要充分考虑到居民人体的营养均衡，使营养摄入量尽量在合理范围内；

准则二：消费成本较低性。充分考虑居民的购买成本，使购买成本尽可能的低；

准则三：种植收益较高性。使种植者能够尽量获得较大利益；

准则四：综合性。尽量考虑进出口贸易、土地面积、地域差异等其他因素。

准则五：平等性。消费者和种植者的利益同等重要。

根据准则一、二可得：

$$\min z_1 = \sum_{i=1}^n c_i y_i \quad (4.1)$$

$$s.t. \begin{cases} B_{s^-} \leq \sum_{i=1}^m a_{si} y_i + \sum_{j=m+1}^n a_{sj} y_j \leq B_{s^+} (s=1,2,\dots,k) \\ y_j \geq 0 (j=1,\dots,n) \end{cases} \quad (4.2)$$

根据准则二、三、四可得：

$$\max z_2 = \sum_{i=1}^n d_i y_i \quad (4.3)$$

$$s.t. \begin{cases} B_{s^-} \leq \sum_{i=1}^m a_{si} y_i + \sum_{j=m+1}^n a_{sj} y_j \leq B_{s^+} (s=1,2,\dots,k) \\ y_j \geq 0 (j=1,\dots,n) \end{cases} \quad (4.4)$$

其中  $y_1, y_2, \dots, y_m$  分别为所选  $m$  种水果的人均年消费量， $y_{m+1}, y_{m+2}, \dots, y_n$  分别为所选  $n-m$  种蔬菜的人均年消费量。 $B_i (i=1,2,\dots,k)$  分别为各种营养素的人均年应摄入量， $B_{i^+}$  为第  $i$  种营养素的人均年应摄入量上限， $B_{i^-}$  为第  $i$  种营养素的人均年应摄入量下限。 $a_{ij}$  为  $y_j$  所对应的水果（或蔬菜）所含的第  $i$  种营养素含量。

$c_j (j=1,2,\dots,n)$  为  $y_j$  所对应的水果（或蔬菜）的价格系数， $z_1$  为年人均果蔬消费金额。 $d_i (i=1,2,\dots,n)$  为  $y_i$  所对应的水果（或蔬菜）的种植者收益系数，其与进出口贸易、土地面积、地域差异等因素有关。 $z_2$  为年人均种植收益，其乘上中国的人口数即为该年种植人员种植所选果蔬的总收益。

从 (4.1)、(4.2)、(4.3)、(4.4) 很容易看出问题四是一个多目标的优化问

题。既要考虑种植者收益尽可能大，又要使得居民的购买成本尽可能低，这和价格系数 $c$ 及收益系数 $d$ 密切相关。(4.2)、(4.4)可以看出，两个目标的约束条件相同，都是使居民的营养摄入量在合理范围内。因此，如何选出一组可行的果蔬序列即 $y_1, y_2, \dots, y_m, y_{m+1}, \dots, y_n$ 满足约束条件，使得得到的 $z_1$ 、 $z_2$ 均在可控范围内，即果蔬价格能够为消费者接受，果蔬种植收益也能为种植人员接受，是求解问题四的关键。而降低价格系数 $c$ ，提升收益系数 $d$ 能够使得所求 $z_1$ 降低， $z_2$ 提升，而这与市场的调节和国家的一系列政策如进出口贸易政策、土地政策有关。

多目标优化问题的求解方法常见的有逐步法和加权法。本文使用加权法进行求解。

建立果蔬生产规模战略调整模型：

$$\begin{aligned} & \max \{-z_1, z_2\} \\ & s.t. \begin{cases} B_{s^-} \leq \sum_{i=1}^m a_{si}y_i + \sum_{j=m+1}^n a_{sj}y_j \leq B_{s^+} (s=1,2,\dots,k) \\ y_j \geq 0 (j=1,\dots,n) \end{cases} \end{aligned}$$

使用加权法：  $\max z = -\alpha z_1 + \beta z_2$

$$s.t. \begin{cases} B_{s^-} \leq \sum_{i=1}^m a_{si}y_i + \sum_{j=m+1}^n a_{sj}y_j \leq B_{s^+} (s=1,2,\dots,k) \\ y_j \geq 0 (j=1,\dots,n) \end{cases}$$

我们根据准则五，消费者和种植者的利益同等重要，令：

$$\alpha = 0.5, \beta = 0.5. \quad \max z = -0.5z_1 + 0.5z_2 \quad \text{即}$$

$$\max z = -0.5 \sum_{i=1}^n c_i y_i + 0.5 \sum_{i=1}^n d_i y_i = 0.5 \sum_{i=1}^n (d_i - c_i) y_i \quad .$$

得到果蔬生产规模战略调整模型为：

$$\begin{aligned} & \max z = -0.5 \sum_{i=1}^n c_i y_i + 0.5 \sum_{i=1}^n d_i y_i = 0.5 \sum_{i=1}^n (d_i - c_i) y_i \\ & s.t. \begin{cases} B_{s^-} \leq \sum_{i=1}^m a_{si}y_i + \sum_{j=m+1}^n a_{sj}y_j \leq B_{s^+} (s=1,2,\dots,k) \\ y_j \geq 0 (j=1,\dots,n) \end{cases} \end{aligned}$$

由模型可以看出对于给定的满足约束条件的果蔬序列， $d, c$ 的值决定了 $z$ 的值，而 $d, c$ 的值与市场的调节和国家的一系列政策如进出口贸易政策、土地政策

有关。尽可能地降低各个价格系数 $c$ ，提升各个收益系数 $d$ 是国家宏观调控的目标。

价格系数 $c$ 即消费者购买各果蔬的单价，收益系数 $d$ 即种植者出售各果蔬的单价。以 2010 年为例，本文在第三问中已找出了相关果蔬的单价 $c$ ，我们在网上查找了相关地域果蔬的 $d$  (见附件)。

#### 6.4.2 果蔬生产规模战略调整模型的求解

使用 2010 年全国的价格系数 $c$ 均值及收益系数 $d$ 均值，运用 MATLAB 程序对模型进行求解，所得果蔬人均消费量如下表所示。

表 49 果蔬人均消费量 (单位: kg)

	苹果	梨	桃子	葡萄	香蕉	橘子	柿子
消费量 (kg)	0.064601	0.026642	0.018482	0.010938	0.012348	0.043993	0.004958
	大枣	荔枝	龙眼	猕猴桃	菠萝	胡萝卜	萝卜
消费量 (kg)	0.010329	0	0.001899	0.00147	0.001979	0.028618	0.074789
	大白菜	菠菜	芹菜	西红柿	茄子	黄瓜	土豆
消费量 (kg)	0.1483	0.024324	0.03377	0.06488	0.045165	0.085227	0.092725

$z = -0.51951$ 。多目标规划得到的解一般都是非劣解 (有效解)，即消费者和种植者均较为满意的解。 $z$  为负值是因为 $c$ 一般比 $d$ 大，果蔬从种植者流向消费者有一定的商业链，中间商赚取了一定的费用。

使用同样的价格系数 $c$ ，运用问题三中消费产品选择模型得到果蔬人均消费量如下表。

表 50 果蔬人均消费量 (单位: kg)

	苹果	梨	桃子	葡萄	香蕉	橘子	柿子
消费量 (kg)	0.064612	0.026631	0.018493	0.010927	0.012358	0.043895	0.004949
	大枣	荔枝	龙眼	猕猴桃	菠萝	胡萝卜	萝卜
消费量 (kg)	0.008329	0.002631	0.001907	0.00159	0.001985	0.028418	0.074782
	大白菜	菠菜	芹菜	西红柿	茄子	黄瓜	土豆
消费量 (kg)	0.1485	0.024129	0.03397	0.06497	0.045156	0.085127	0.092817

对比两表可知：荔枝消费量为零，龙眼和猕猴桃消费量下降比较明显，这是因为消费产品选择模型只考虑了消费者的利益，果蔬生产规模战略调整模型不仅考虑了消费者利益，还考虑了种植者利益。当种植者出售这三类果蔬的价格和消费者购买的价格差较大，而中间商赚取利润较多，而这三类果蔬的营养成分可有另外果蔬代替时，模型自适应地将这三种果蔬的摄入量减少了。

表 51 2011-2020 年果蔬预测年人均消费量

	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
苹果	253.7278	269.5362	286.3295	304.169	323.1201	343.2519	364.638	387.3566	411.4906	437.1283
梨	103.5428	109.3896	115.5665	122.0923	128.9865	136.27	143.9649	152.0942	160.6826	169.7559
桃子	75.7387	81.46116	87.61599	94.23584	101.3559	109.0138	117.2504	126.1093	135.6375	145.8856
葡萄	42.32325	45.35099	48.59534	52.07178	55.79692	59.78856	64.06574	68.64892	73.55996	78.82234
香蕉	47.12325	50.25592	53.59684	57.15986	60.95975	65.01225	69.33415	73.94336	78.85898	84.10138
橘子	182.1682	200.5899	220.8744	243.2103	267.8049	294.8865	324.7068	357.5427	393.6991	433.5118
柿子	19.32863	20.69659	22.16136	23.72979	25.40923	27.20753	29.1331	31.19495	33.40272	35.76674
大枣	9.650598	9.907213	10.17065	10.4411	10.71873	11.00375	11.29634	11.59672	11.90508	12.22165
荔枝	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
龙眼	7.381704	7.687744	8.006474	8.338417	8.684123	9.044161	9.419127	9.809638	10.21634	10.6399
猕猴桃	6.416856	7.538963	8.857291	10.40615	12.22586	14.36379	16.87556	19.82657	23.29362	27.36694
菠萝	7.253344	7.485603	7.725298	7.972668	8.227959	8.491426	8.763328	9.043937	9.333531	9.632399
胡萝卜	105.645	107.6048	109.601	111.6343	113.7052	115.8146	117.9631	120.1515	122.3804	124.6507
萝卜	273.6524	274.3542	275.0579	275.7633	276.4706	277.1797	277.8906	278.6033	279.3179	280.0343
大白菜	542.3595	542.6934	543.0275	543.3618	543.6963	544.031	544.3659	544.701	545.0363	545.3718
菠菜	88.92812	89.79427	90.66885	91.55195	92.44365	93.34404	94.25319	95.1712	96.09815	97.03413
芹菜	126.2793	128.6157	130.9952	133.4188	135.8872	138.4013	140.9619	143.5699	146.2262	148.9315
西红柿	252.4927	268.9753	286.534	305.2388	325.1647	346.3914	369.0038	393.0922	418.7532	446.0893
茄子	168.4172	172.1027	175.869	179.7176	183.6505	187.6695	191.7764	195.9731	200.2618	204.6442
黄瓜	320.2152	330.0411	340.1684	350.6066	361.365	372.4535	383.8823	395.6618	407.8028	420.3163
土豆	339.7758	340.7725	341.7722	342.7748	343.7804	344.7888	345.8003	346.8147	347.8321	348.8525

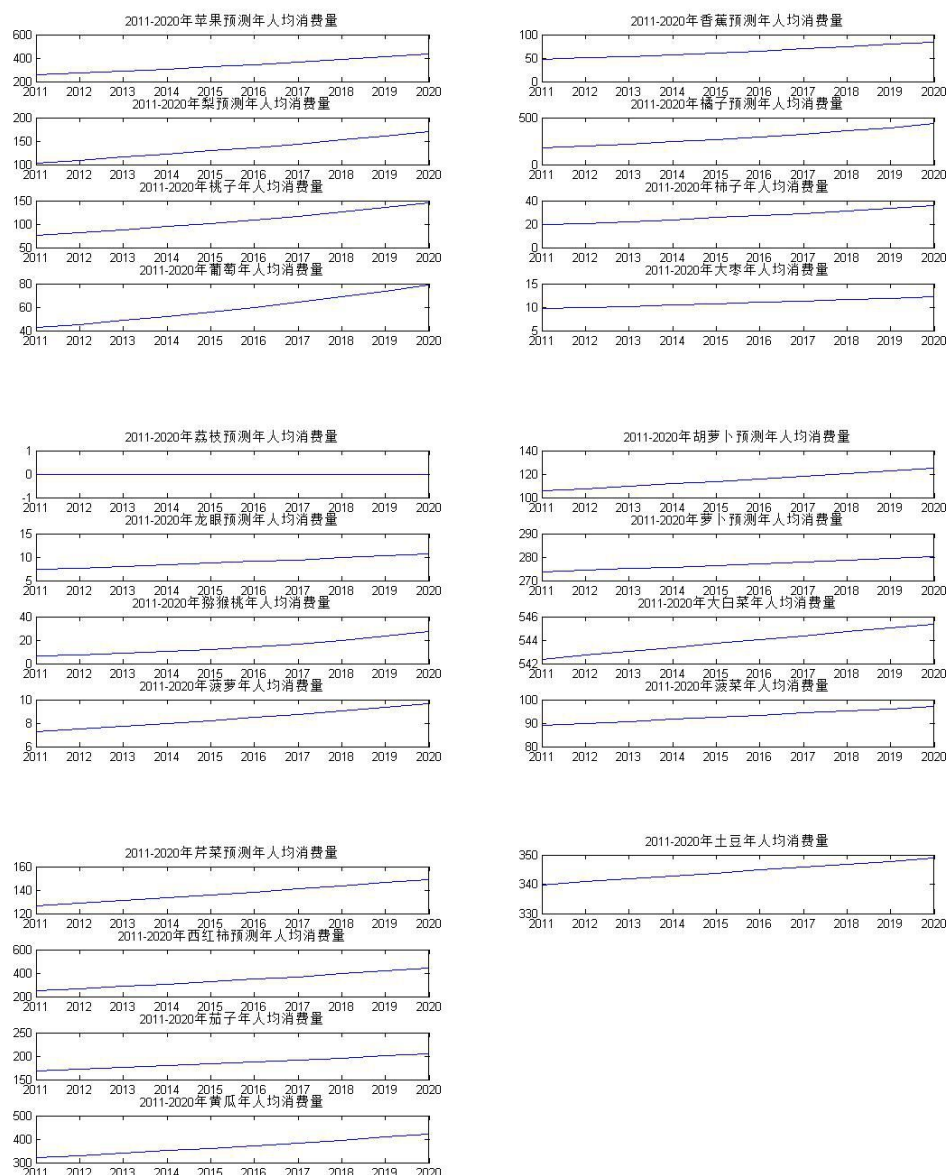


图 15 2011-2020 年果蔬预测人均消费量

根据表 51 和图 15 可以看出，把荔枝替换成大枣后，荔枝的消费量变为 0，大枣的消费量上升，由于荔枝和大枣营养成分及含量相似，替换后对营养素日摄入量影响较小。果蔬生产规模战略调整模型重新计算后的果蔬年度人均消费趋势显示，种植者和消费者达到了共赢，这是因为多目标规划能够找到非劣解，即两个目标函数均找到了比较满意的解。

### 6.4.3 调整战略的提出

（一）合理布局果蔬种植种类。可在一定程度上替代掉营养量成分及含量和其他果蔬相似，但价格高的果蔬。

（二）提升对各类果蔬出售的信息化程度。种植者种植的农产品往往要经过

各个商业链才能到达消费者手中，加强农产品出售的信息化，将品牌化的农产品在淘宝网等信息化途径进行出售，能够有效地减少商业链条，降低居民购买成本，提升种植者收益。在一定程度上减小 $c$ 值，提高 $d$ 值，进而增大 $z$ 值。

（三）加大对各类果蔬培养的基地化程度。集中栽种，减少零散的培养土地面积，降低整体栽种成本，提升各类水果的单位收益值（ $d$ 值），进而增大 $z$ 值。

（四）加大低成本果蔬的进口程度，加大国内高经济效益果蔬的出口程度。前者有利于降低居民购买成本，后者有利于提升种植者收益。亦在一定程度上减小 $c$ 值，提高 $d$ 值，进而增大 $z$ 值<sup>[1-4]</sup>。

## 6.5 给相关部门的政策建议

在充分考虑我国国情（政策、人口、收入情况、季节、环境、地域、耕地）的前提下建立的数学模型，具有一定的合理性，结合我国相关权威部门提供的真实数据以及参考部分国外组织机构提供的数据，分析得出了以下具有客观性的建议<sup>[5]</sup>。

### 6.5.1 平衡多种类果蔬的种植，全面提升居民营养量的摄入

根据分析可知，目前中国居民的人均日摄入量十分不合理，对于膳食纤维、矿物质以及维生素等十六种人体必需的营养素，除了少部分处于合理区间，其余部分均处于缺乏或者超标状态，这对中国居民的健康影响甚大。所以，在蔬菜和水果的种植规划中，加大多种果蔬品种的种植，全面提高营养摄入，尤其是含营养素评价为严重缺乏（镁元素）的果蔬（香蕉），应当重点栽培，而对于所含超标营养素较多的果蔬品种，可以考虑适当减少产量。

### 6.5.2 加强市场调控，降低居民购买成本

对于收入较低者而言，在同一地域不同季节，可根据各类果蔬在当地市场的价格，选取合适的果蔬食用。例如：北京的荔枝在春季时价格偏高，那么可以选择在春季的时候不食用荔枝，而用其他的果蔬（大枣）代替，到了夏季，荔枝价格下降，而其余替代产品由于季节原因价格增长，则此时适合食用荔枝<sup>[6-7]</sup>。

### 6.5.3 按不同地域、季节合理布局果蔬种植种类，降低居民购买成本

政府应当充分考虑地域因素的影响，在合适的地域布局种植合适的瓜果蔬菜，节约运输的成本，降低果蔬销售价格。政府应当充分考虑季节因素的影响，对反季节的果蔬培养在宏观上不进行大力的鼓励。反季节果蔬培养存在规模小、价格贵等特点，那么为了均衡季节带来营养摄入的不足，消费者可以使相关的果蔬代替当季缺乏的品种，例如：春季荔枝的价格是大枣的数倍，但所含人体需要的营养素类似。消费者可以在春季多购买大枣，少购买荔枝，在营养摄入满足标



准摄入量前提下，降低了消费成本。

#### 6.5.4 控制进出口贸易，优化种植产业，提升种植者收益

国家的宏观调控作为对果蔬种植、进出口等总体的战略规划，必须充分的、全面的考虑。就进出口贸易而言，少数几种果蔬的价格较为高昂，超过了部分人群的消费承受能力，将此类果蔬通过出口的方式，增加种植者的收入是一个不错的选择，根据资料显示，我国荔枝、龙眼的出口创造了极大的经济效益，采取名牌战略，提高部分出口果蔬的知名度，将其打造成“拳头”品牌，销往国外。

#### 6.5.5 加大对各类果蔬培养的基地化程度，提升种植者收益<sup>[9]</sup>

集中栽种，减少零散的培养土地面积，降低整体栽种成本，提升各类水果的单位收益值。由于部分地域可耕地面积较少，相关部门当积极制定政策，加大对各类果蔬培养的基地化程度，积极调整果蔬产业生产结构，形成基地种植模式，提高资源利用率。

#### 6.5.6 提升果蔬出售的信息化程度，提升种植者收益，降低居民购买成本

种植者种植的农产品往往要经过各个商业链才能到达消费者手中，加强农产品出售的信息化，将品牌化的农产品在淘宝网等信息化途径进行出售，能够有效地减少商业链条<sup>[10-12]</sup>。果蔬信息的实时交互能够有效解决果蔬品供需之间的矛盾，既可以使果蔬品的买方及卖方将缺货信息和需求数量传递给市场和果蔬中介组织，又可以让作为农产品卖方的企业和农户及时将农产品的种类和供应量发布出来。避免了由于信息不透明导致的供求双方都出现损失的情况<sup>[13]</sup>。如此，可以降低居民购买成本，提升种植者收益

#### 6.5.7 完善统计部门职能，提升统计数据质量

对于营养的日应摄入量数据统计时，不仅应当将人群按照年龄段、性别、劳动强度进行分类讨论，还应该结合人均收入水平、每年龄段居民人数、各个年龄段食物摄入量的大小、超出或低于营养素摄入量合理范围的评价标准等多个方面全盘统计<sup>[14-15]</sup>，以提升数据的准确性及全面性。

## 七、模型优缺点

### 7.1 模型的优点

(1) 模型不但可以横向比较同年新农保、城职保等收支状况，而且可以纵向比较不同年份养老保险金收支状况。保证了模型的通用性。

(2) 既辩证使用了 F 题附件所给数据，又查询了大量权威学术资料，确保模型使用数据的客观性，从而确保了模型的实用性。

(3) 运用较复杂的原理得到较直观的结论。对定性的养老保险体系进行了定量的分析,建立了较复杂的模型,得出了定性的结论及建议,给出了可视化的图表,便于辅助决策。完成了定性——定量——定性的科学过程。

## 7.2 模型的缺点

(1) 人为地从权威资料中寻找养老保险体系的相关数据、信息,具有一定主观性。

(2) 在假设中过于理想化,如国外经济变化对国内养老保险金运行没有影响。

## 参考文献

- [1]王惠君等,1991-2006年中国九省区中老年居民蔬菜水果消费状况的变迁[J],营养学报,2011,59-62.
- [2]徐保国等,安阳市城乡人民水果消费量的调查与分析[J],林业科技开发,2001,74-78.
- [3]汪晓银等,城乡居民人均蔬菜消费量长期趋势分析[J],湖北农业科学,2006,60-63.
- [4]王方舟,河北省城镇居民蔬菜消费量的影响因素分析[J],湖北农业科学,2012,32-35.
- [5]王方舟,河北省农村居民蔬菜消费量的因素分析[J],广东农业科学,35-37.
- [6]苏畅,经济因素对我国成年居民膳食结构和营养状况影响——九省事例分析(1991-2006)[D],中国疾病预防控制中心,北京,2010,100-104.
- [7]张巍,我国果蔬发展中应该注意的几个问题[J],中国果菜,2001,51-53.
- [8]胡运权,运筹学教程[M],北京:清华大学出版社,2012,103-110.
- [9]王锦海等,广东省农产品出口贸易存在问题与发展战略[J],广东农业科学,2007,44-48.
- [10]王亮,安徽省特殊农产品发展现状及发展战略研究[J],淮南职业技术学院学报,2011,75-77.
- [11]那威,严飞,河北农产品发展战略[J],中国证券期货,2013,80-84.
- [12]马小辉,河南省农产品进出口贸易的现状与发展策略研究,价值工程,2008,61-64.
- [13]解小平,论我国农产品绿色贸易发展战略[J],国际商贸,2011,30-33.
- [14]丁婷婷,我国农产品出口贸易发展战略[J],合作经济与科技,2008,50-53.
- [15]张智昊,中国农业经济崛起的必有之路[J],科学之友,2008,41-43.